

MICHEL CEDRICK BUTNARIU

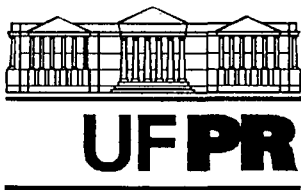
**VARIABILIDADE DA PRODUTIVIDADE DE SOJA EM UM LATOSSOLO
VERMELHO AMARELO RELATIVA À FERTILIDADE QUÍMICA E A
PARÂMETROS FITOTÉCNICOS**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Agronomia, Curso de Pós-Graduação em
Agronomia-Área de Concentração Ciência
do Solo, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná.**

Orientador: Prof. Dr. Luiz A. C. Lucchesi

CURITIBA

2002



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolo@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **MICHEL CEDRICK BUTNARIU**, com o título: **"Variabilidade da produtividade de soja em um Latossolo Vermelho Amarelo relativa à fertilidade química e a parâmetros fitotécnicos"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"B"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 28 de março de 2002.

Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi, Presidente.

Prof. Dr. Glaucio Roloff, Iº Examinador.

Engº Agrº Dr. Genésio da Silva Cervellini, IIº Examinador.

Aos meus pais à minha avó Lourdes, ao professor Perulfo e demais amigos verdadeiros os quais sempre me orientaram no sentido do bem. Mas principalmente àqueles desconhecidos que, de uma maneira ou outra, sacrificam suas próprias aspirações a fim de que a vida se perpetue na face da Terra.

DEDICO.

SPES MESSIS IN SEMINE

AGRADECIMENTOS

Aos professores, Aníbal de Moraes, Gláucio Roloff, Celso Prevedello, Vander Melo e Genésio Servelini pelas informações compartilhadas e ao meu orientador e amigo Luiz Lucchesi, que mesmo ciente das dificuldades acreditou na possibilidade e não poupou esforços para que este trabalho se realizasse.

Aos colegas de profissão e amigos, Vitor Hugo Zanella e Márcio Okuno (Cotrefal); Odilson Pelisser (EMATER), Ademir Henning e Eduardo Alves dos Santos (EMBRAPA); Pedro Bianchini Magalhães (Agrotis); Valmiqui Costa Lima, Yakson de Oliveira Borges, Masato Kobiyama, José Moriya, Adonai Cintra e Márcio Muraro (UFPR); Clyde Fraise (Cargil); Dirlei Schmidlin (Engefoto); Carlos Henrique (Agrevo); Eduardo Pianta, Luis Augusto Agonilha, Carlos Silva, João Marcos Ferrari, Júlio Teschima e Júlio Lima (DuPont), pela oportunidade profissional e apoio fornecidos, e ainda pela sensibilidade quanto à importância do desenvolvimento técnico-científico dos profissionais de agronomia do ramo privado.

Aos amigos pessoais, Klaus Junginger e Rossana Bonetto que me ajudaram durante todo o período acadêmico.

Aos Departamentos de Geologia, Geomática, Fitotecnia, e em especial ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná na figura de todos os seus professores e funcionários pela acolhida saudosa e pelo profissionalismo extremo no processo de aprendizado científico.

In memoriam ao professor e amigo Miguel Antonio Loyola da Rocha, pelo exemplo de seriedade e dedicação na busca incansável pela verdade científica e na prática sacerdotal do ensino.

EPÍGRAFE

AGRICULTURA DE PRECISÃO, UM BREVE RELATO

Vários termos têm sido utilizados como sinônimos de agricultura de precisão. Os termos mais comuns encontrados na bibliografia são, cultivo auxiliado por computador (Computer Aided Farming) e agricultura com práticas localizadas (Site Specific Farming).

Ao contrário do que pode parecer, embora algumas práticas de gerenciamento localizado tenham sido introduzidas apenas nestes últimos anos, a filosofia que embasa a agricultura de precisão foi apresentada ainda no ano de 1929 por C. M. Linsley e F.C. Bauer, pesquisadores da Universidade de Illinois nos EUA. Linsley e Bauer dividiram uma área experimental em pequenas parcelas, as quais denominaram de “células”. Para cada uma destas células os pesquisadores realizaram estudos sistemáticos e detalhados, mapeando assim a variabilidade espacial da acidez do solo e concluindo que as dosagens de calcário utilizadas para corrigir o pH do solo também deveriam variar ao longo da área, de acordo com sua acidez. Elaboraram então um mapa de precisão, o qual indicava, para cada uma destas “células”, a dosagem ideal de calcário. Como naquela época realizavam-se quase todas as operações manualmente e em pequenas áreas, a aplicação localizada e diferenciada de insumos era realizada com relativa simplicidade.

Após a introdução dos equipamentos mecanizados e do aumento das áreas produtivas, estas técnicas tiveram que ser abandonadas. Os avanços tecnológicos recentes na área da mecânica, eletrônica e computação vieram, entretanto viabilizar técnica e economicamente a criação de sensores, aplicadores e diversos outros equipamentos capazes de realizar automaticamente em grandes áreas e em tempo real tais operações, ou seja, à medida que o implemento se desloca, os sensores fazem a leitura e ocorre uma aplicação imediata dos insumos.

A filosofia básica da agricultura de precisão, conforme relatam vários autores, considera que se os fatores de produção variam espacialmente ao longo da

área produtiva, então as exigências de fertilização e dos demais insumos também devem variar, de acordo com a variação destes fatores.

Assim, se as reais necessidades dos insumos puderem ser localizadas e medidas ao longo da área, e somente as quantidades ideais de insumos forem aplicadas, o agricultor poderá maximizar a utilização dos insumos, reduzir a quantidade total dos insumos utilizados, diminuir os custos de produção e ainda aumentar a produtividade total da área.

Resumidamente, o objetivo principal da agricultura de precisão é o de maximizar a eficiência na utilização dos insumos, buscando atingir produtividades máximas, associadas ao máximo retorno econômico, otimizando os potenciais produtivos de cada área ou parcela agrícola.

Dentre os vários avanços tecnológicos surgidos recentemente, destacam-se principalmente os sistemas de posicionamento via satélite. O principal sistema de posicionamento via satélite e de uso mais difundido para agricultura foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA e denominado GPS (Global Positioning System) ou Sistema de Posicionamento Global. O sistema GPS é composto por um conjunto de 24 satélites distribuídos em 6 diferentes planos orbitais. Utilizando-se de um receptor especial, pode-se determinar em tempo real as coordenadas geográficas, latitude, longitude e altitude de um determinado ponto.

Para aumentar a exatidão do sistema, utiliza-se uma técnica de correção diferencial de posição, também conhecido por DGPS (Diferencial Global Positioning System), ou Sistema de Posicionamento Global Diferencial. Esta técnica consiste em se utilizar um segundo receptor de GPS, instalado em uma posição fixa e com coordenadas conhecidas, o qual é denominado receptor BASE. Comparando-se as coordenadas calculadas pelo GPS, com as coordenadas reais do ponto fixo, o receptor BASE pode estimar para cada dado instante (em tempo real), os erros de posição. Tendo-se como premissa básica que num mesmo instante, os receptores de GPS estão sujeitos aos mesmos erros, o receptor móvel pode “descontar” os erros estimados pelo receptor BASE. Esta técnica aumenta a exatidão de posicionamento dos receptores móveis a valores menores que 1 metro.

Atualmente, a agricultura de precisão é uma tecnologia altamente dependente dos chamados sistemas de engenharia. O uso de grandes quantidades de dados requeridos pelos processos de gerenciamento, associados à agricultura de precisão, exige a utilização de equipamentos destinados à aquisição e análise de dados. Exige-se também a disponibilidade de programas de suporte à decisão e ainda de equipamentos destinados à realização das aplicações localizadas e diferenciadas de insumos. Em 1966, STAFFORD afirmou que agricultura de precisão exige quatro subsistemas; (1) sensoriamento do solo e da cultura; (2) posicionamento ou georreferenciamento dos equipamentos no campo; (3) mapeamento do campo produtivo e (4) aplicação automática de insumos, de forma localizada e com dosagens específicas.

Como o processo de produção agrícola se dá em ciclos contínuos, a agricultura de precisão, isto é, os processos de gerenciamento localizados também devem ser vistos como um processo cíclico segundo STAFFORD (1996) subdivide a agricultura de precisão em três etapas distintas. O processo inicia-se com o monitoramento da colheita, objetivando a elaboração de mapas de produtividade da cultura colhida, o qual é uma representação fiel da variabilidade espacial da cultura. As variações de produtividade são, entretanto, resultado da interação de vários fatores. Desta forma a elaboração dos mapas de produtividade é uma etapa indispensável para agricultura de precisão.

A outra etapa da agricultura de precisão é destinada à interpretação dos dados coletados. Pode-se utilizar, nesta etapa, uma série de softwares de suporte à decisão, sistemas de informações geográficas e sistemas de simulação, entre outros. O objetivo principal desta etapa, se refere ao planejamento e à elaboração das futuras ações a serem tomadas, as quais devem ser realizadas de forma localizada, e representada através dos chamados mapas de precisão.

Finalmente, a terceira etapa da agricultura de precisão, refere-se à execução das atividades planejadas anteriormente. Com base nas informações contidas nos mapas, as operações de semeadura, fertilização e pulverização devem ser realizadas localizadas e em taxas variáveis.

Pode-se concluir, que a agricultura de precisão representa mais um avanço da agricultura não sentido de maximizar a produtividade, reduzindo o uso indiscriminado e irracional dos insumos e conseqüente os custos de produção. A agricultura de precisão pode ser vista neste contexto, como sendo mais uma ferramenta à disposição do agricultor, para que este faça de sua atividade produtiva uma atividade econômica e principalmente ecologicamente sustentável.

A diminuição dos desperdícios, associada à utilização eficiente dos insumos e ao máximo aproveitamento do potencial produtivo da cultura e do solo, é à base da agricultura de precisão. BORGELT (1989), citado por SEARCY (1989), verificou que se utilizando uma única dosagem de aplicação de calcário no nordeste do Texas EUA, obteve em 12% do campo, excesso de calcário e em 37% dele, menos calcário que o necessário.

SEARCY (1989) utiliza, como exemplo das vantagens da aplicação localizada, o uso de nitrogênio na cultura do algodão no Texas. Utilizando dosagens típicas para aquele estado americano e assumindo que o campo tem 10% da área com excesso e 20% com falta de nitrogênio, calculou que a perda devido à adubação incorreta seria de US\$ 338 para uma área de 100 acres (40,47 ha). Seguindo o seu raciocínio concluiu que mesmo que a utilização da aplicação localizada provocasse um acréscimo de custo de 50%, o lucro líquido da operação ainda seria da ordem de US\$ 4,64/ha.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 HIPÓTESE	4
4 REVISÃO DA LITERATURA	5
4.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	5
4.1.1 Sensoriamento direto	8
4.1.1.1 Sensoriamento direto da colheita	8
4.1.2 Sensoriamento remoto	12
4.2 ESTUDOS EM AGRICULTURA DE PRECISÃO	13
4.2.1 Mapeamento de lavouras comerciais	15
4.2.2 Aplicação de insumos em dose variada	17
4.2.3 Análises e considerações econômicas	23
4.3 O SOLO COMO OBJETO DE ESTUDO	26
4.3.1 A Fertilidade do solo	27
4.4 A CULTURA DA SOJA	32
4.5 MANEJO DE PLANTAS DANINHAS	35
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
5.1 ÁREA DE ESTUDO LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO	41
5.2 METODOLOGIA UTILIZADA	45
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
7 CONCLUSÕES.....	66
8 REFERÊNCIAS.....	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – NÍVEIS DE ALGUNS COMPONENTES DO SOLO PARA EFEITO DA INTERPRETAÇÃO DE	31
TABELA 2 – QUANTIDADE DE N, P ₂ O ₅ E K ₂ O EXTRAÍDAS POR QUATRO CULTURAS, PARA CADA 1000 KG DE GRÃOS PRODUZIDOS. EMBRAPA-CNPQ. LONDRINA, PR. 1998.	33
TABELA 3 – EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE SOJA PARA UMA PRODUÇÃO DE 1.000 KG DE GRÃOS.	33
TABELA 4 – CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES USADAS NA INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE FOLHAS DE SOJA DO TERÇO SUPERIOR DA PLANTA, NO INÍCIO DA FLORAÇÃO ¹	34
TABELA 5 – REDUÇÃO NO RENDIMENTO DE GRÃOS E NA RECEITA BRUTA DA SOJA, PELA COMPETIÇÃO COM LEITEIRO (<i>EUPHORBIA HETEROPHYLLA</i> L.) NA SAFRA 1996/97 E 1997/98.	38
TABELA 6 – REDUÇÃO NO RENDIMENTO DE GRÃOS E NA RECEITA BRUTA DA SOJA, PELA COMPETIÇÃO COM PICÃO PRETO (<i>BIDENS PILOSA</i> L.) NA SAFRA 1996/97 E 1997/98.	39
TABELA 7 – RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO PARA A SOJA NO ESTADO DO PARANÁ.	47
TABELA 8 – NÍVEIS INTERPRETATIVOS DE TEORES DO SOLO NO PARANÁ. FONTE: EMBRAPA (1998).	48
TABELA 9 – RESULTADOS ANALÍTICOS PARA O SOLO EM AMOSTRAS TOMADAS ÀS PROFUNDIDADES DE 0-5, 5-10, 15-35, 35-55 E DE 0-15 CM.	52

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – RESPOSTA EM PRODUTIVIDADE DA CULTURA COMO FUNÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO	7
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SISTEMA AGRICULTURA DE PRECISÃO EM ÁREAS COMERCIAIS DE CULTIVO DE GRÃOS.	23
FIGURA 3 – RELAÇÃO ENTRE PH E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NO SOLO (ADAPTADO DE MALAVOLTA, 1980).	27
FIGURA 4 – ESTADO DO PARANÁ, COM DESTAQUE PARA A REGIÃO DE PINHAIS-PR.	42
FIGURA 5 – CENTRO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI PINHAIS-PR, COM DESTAQUE PARA A ÁREA EXPERIMENTAL.....	43
FIGURA 6 – FOTOGRAFIA AÉREA DO CENTRO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI COM DESTAQUE PARA A ÁREA EXPERIMENTAL..	44
FIGURA 7 – ÁREA EXPERIMENTAL E DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS.....	45
FIGURA 8 – NÍVEIS INTERPRETATIVOS DE TEORES DO SOLO NO PARANÁ. FONTE: EMBRAPA (1998).....	48
FIGURA 9 – FÓSFORO NO SOLO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS 0-15 CM.	55
FIGURA 10 – RELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE E P NO SOLO	65
FIGURA 11 – RELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE E MATOCOMPETIÇÃO.....	65

RESUMO

Testou-se a possibilidade de se construir curvas de calibração, relacionando-se teores extraíveis de P do solo, níveis foliares e produtividade de grãos de soja (*Glycine max* (L) Merrill), e avaliou-se a contribuição de outros parâmetros fitotécnicos sobre a produtividade a partir da quadriculação (“grid”), método empregado pela “agricultura de precisão”, de área agrícola de 9 ha do Centro Experimental do Canguiri da Universidade Federal do Paraná, localizada em Pinhais, Paraná. Para tanto, dividiu-se a área de estudo em 18 parcelas de 0,5 ha, das quais coletou-se amostras de solo, compostas por 20 sub-amostras cada, tomadas na entrelinha da cultura anterior às seguintes profundidades: 0-5; 5-10; 0-15; 15-35 e 35-55 cm. Os fatores analisados foram pH em CaCl₂, Al, Ca, Mg, P e K extraíveis e C orgânico. Sucedeu-se à amostragem o plantio de soja com aplicação de fertilizante apenas para repor os nutrientes extraídos pela cultura. Todas as operações de plantio, tratos culturais e fitossanitários foram realizadas em área total. As parcelas foram avaliadas na pré-floração (Vn) e na maturação fisiológica dos grãos (R7) para os seguintes parâmetros: estande, mato-competição e ocorrência de pragas e doenças. Os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e Al foram obtidos de material também amostrado na pré-floração (Vn). A colheita foi realizada manualmente. Os dados foram submetidos à análise de regressão. As médias e desvios padrão demonstraram haver significativa variabilidade para os fatores avaliados. Concluiu-se que a construção de curvas de calibração poderia ser possível a partir da metodologia empregada, desde que outros fatores agronômicos fossem controlados, o que não foi possível neste trabalho, no qual atribuiu-se à ocorrência de plantas daninhas a maior causa da variabilidade na produtividade o que certamente mascarou o efeito esperado da fertilidade do solo, em especial o de P extraível.

ABSTRACT

The possibility to construct calibration curves with data obtained from 18 plots of 0,5 ha after gridding an area of 9 ha, a "precision farming" technique, was tested. For that, soil extractable P, soybeans (*Glycine max* (L) Merrill) leaf levels, and grain yields were used. The contribution of other agronomic parameters for the yield was also evaluated. The study was conducted at the Canguiri Experimental Center of the Universidade Federal do Paraná, located in Pinhais, State of Paraná, Southern Brazil. The soil samples, composed by 20 sub-samples each, were taken from the following depths: 0-5; 5-10; 0-15; 15-35 e 35-55 cm. The soil was analyzed for pH in CaCl₂, extractable Al, Ca, Mg, P e K and organic C. After the soil sampling the soybeans were planted with maintenance fertilization. The planting, and all other agronomic practices were conducted as much uniform as possible in all experimental area. The following parameters were evaluated during the beginning of seed development in the pod (Vn) and when the crop was up to be harvested (R7): plant estande, weed competition, and pest and disease levels. Leaf levels for N, P, K, Ca, Mg and Al were obtained from plant material sampled during Vn stage. The harvesting was done manually. The data was submitted to regression analysis. The averages and estandeard deviations had shown the existence of significant variability for the parameters evaluated. It was concluded that the methodology used in this study to built calibration curves could be adopted if other agronomic factors were better controlled. The weed occurrence was concluded to have the highest influence on the grain yield. This problem certainly masked the expected effect of the soil fertility, particularly the extractable P, on the soybean productivity.

1 INTRODUÇÃO

O processo de globalização, mesmo incipiente, já afeta diversos segmentos da economia nacional, dentre os quais muito evidentemente a agricultura. Avaliando-se a conjuntura brasileira vê-se que a agricultura além de gerar empregos, fornecer alimentos de qualidade e em quantidades suficientes à população, também contribui para equilibrar a balança comercial do País, sendo, pois fundamental para a manutenção da sua ordem social e da própria soberania nacional. Dada sua importância, espera-se que os incrementos de produtividade e a estabilização da produção agrícola reflita-se positivamente tanto macro quanto micro economicamente.

Neste contexto têm-se observado grandes variações na produtividade das propriedades agrícolas, e também nas produtividades em um mesmo talhão comercialmente cultivado. Tal variação é observada não apenas entre as diversas lavouras estabelecidas em mesmas regiões ou solos, mas também dentro de um mesmo talhão o qual muitas vezes é considerado uniforme segundo critérios até hoje rotineiramente utilizados como classe de solo, textura e fertilidade.

O agricultor, conhecedor de tais variações, empiricamente relaciona estas às maiores ou piores produtividades de sua propriedade. Entretanto, mesmo isso ocorrendo, os insumos dos quais destacam-se os fertilizantes são distribuídos uniformemente em toda a área, ou seja, aplica-se uma única dosagem desconsiderando-se a real necessidade local, o que gera super utilização de recursos em determinada situação e conseqüentemente sub dosagem em outra.

Segundo o relatório de Acompanhamento da Situação Agropecuária do Paraná (SEAB - 2000) dos insumos utilizados, os fertilizantes representam 41% dos gastos para uma lavoura de soja e 51% para o milho. Sugere-se, pois avaliar com mais cautela a questão da aplicação localizada de insumos a fim de se racionalizar a utilização dos insumos, principalmente dos fertilizantes, objetivando-se economizar recursos, incrementar a produtividade e minimizar o impacto ambiental de tais práticas. O presente trabalho propõe uma avaliação da variabilidade espacial de uma parcela agrícola cultivada comercialmente com soja, onde foram avaliadas as seguintes

características: produtividade de grãos, fertilidade do solo, teores de nutrientes nas folhas, estado da cultura, sanidade e infestação por insetos e plantas daninhas.

Objetivou-se aqui compreender e isolar os principais componentes causais de tais variações, e a partir deles estabelecer métodos de amostragem de solo mais precisos, para que de seus resultados se possa recomendar e aplicar os insumos a fim de incrementar não somente produtividade, mas a lucratividade, sem que haja desperdício de capital ou risco ambiental.

A agricultura deve ser considerada como fonte indelével de recursos, alimentos, matérias primas, energia e divisas para o País. Mundialmente os agricultores contemporâneos têm se mostrado ávidos por informações e tecnologias que os auxiliem na prática de uma agricultura rentável, segura e sustentável.

2 OBJETIVOS

Testar a possibilidade de se construir curvas de calibração utilizando-se para tanto de relações entre os níveis de P extraíveis do solo e os níveis foliares e de produtividade de grãos de soja obtidos de uma área agrícola localizada no Centro Experimental do Canguiri da Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizada no município de Pinhais, Paraná, a partir da sua sub-divisão em parcelas em conformidade ao preceito da quadriculação (“grid”) utilizado pela metodologia conhecida por “Agricultura de Precisão”, e se avaliar a contribuição de outros parâmetros fitotécnicos na produtividade.

3 HIPÓTESE

O potencial produtivo das cultivares de soja não se expressa a campo de maneira uniforme em condições normais de cultivo em razão de variações na fertilidade do solo, de parâmetros fitotécnicos e de outros. Ao se efetuar a quadriculação de uma área agrícola comercial, observar-se-á, entre as parcelas, variação na produtividade da cultura a qual poderá estar relacionada a variações nos teores extraíveis do solo, desde que esta relação não seja mascarada pela matocompetição, ocorrência de pragas e doenças, e outros fatores. Para se relacionar o efeito da fertilidade do solo a parâmetros fitotécnicos por meio da amostragem do solo e da cultura utilizando-se do princípio da quadriculação, derivado da “agricultura de precisão”, e para se calibrar os teores extraíveis de P dever-se-ia controlar, o máximo possível, todos os demais fatores que pudessem vir a interferir na lavoura. Em isso não ocorrendo à calibração fica prejudicada no caso de se adotar tal método.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão é um método cuidadoso e detalhado de administração do solo e da cultura para adequar as diferentes condições encontradas em cada pedaço de lavoura, tendo em vista a desuniformidade intrínseca dos solos (SCHUELLER, 1992 e WEIDA, BORGELT, 1993).

A amostragem do solo de uma dada área é tradicionalmente feita coletando-se sub-amostras as quais depois de uniformizadas em uma única amostra, passa a representar as características de fertilidade daquela área, assumida como uniforme. Com base nessa interpretação os agricultores fazem a aplicação de quantidades uniformes de insumos como fertilizantes, defensivos e sementes. No entanto, as propriedades do solo e as infestações variam de local para local dentro dessa mesma lavoura (SCHUELLER, 1992 e WEIDA; BORGELT, 1993). Com o aumento do tamanho das propriedades e por consequência das lavouras, tem havido uma tendência de redução na quantidade de informação coletada no campo. LOWENBERG-DEBOER; SWINTON (1995) sugerem que com o advento da mecanização agrícola em áreas como o “cinturão do milho” nos Estados Unidos, o que um agricultor hoje cultivava era conduzido por 10 agricultores nos anos 20. No entanto, esse agricultor certamente utiliza menos informação relacionada à variabilidade espacial da lavoura se comparado a sub-divisão das áreas daquela época.

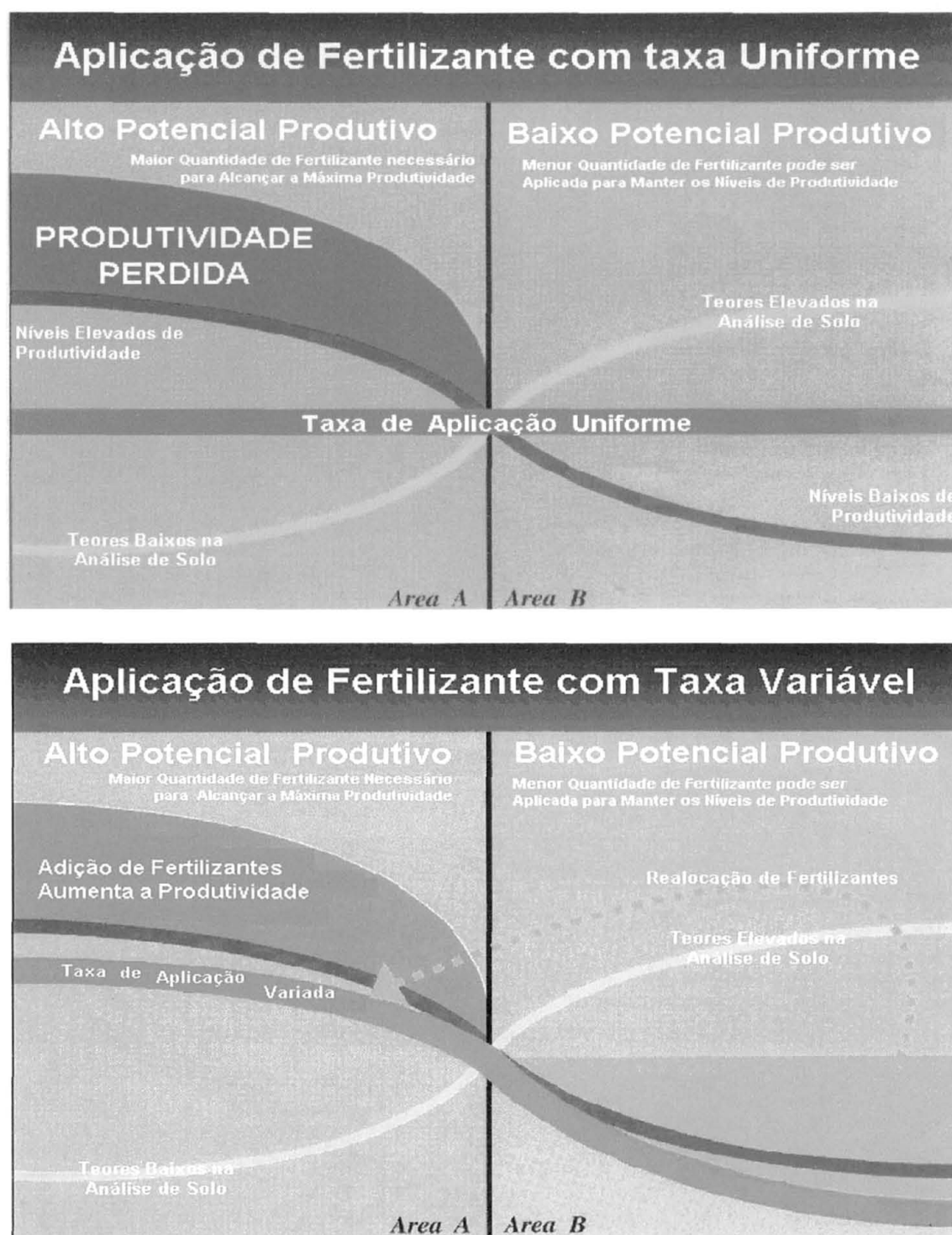
A atual tecnologia que possibilita alocar os insumos com base nas necessidades de cada célula a campo, tem sido denominada de agricultura de precisão, manejo de culturas ponto a ponto, dentre outros termos (SCHUELLER, 1992 e BALASTREIRE, 1994).

Na prática, por exemplo, pode-se adicionar ao sistema solo planta, quantidades exatas de fertilizantes, complementando a diferença entre a quantidade de nutrientes necessários para a cultura e as quantidades disponíveis em cada pequena parcela da lavoura. Tal técnica pode reduzir a quantidade de insumos aplicados, mantendo ou melhorando o nível de produção e reduzindo os riscos de contaminação

ambiental causada pelos excedentes de insumos. SCHUELLER (1992) prevê que a agricultura de precisão com o uso de tecnologias de aplicação localizada de insumos reduzirá o custo da produção de alimentos e fibras e deverá oferecer vantagens ao meio ambiente. BLACKMER; SCHEPERS (1996) afirmam que somente no estado de Nebraska, EUA, mais de 200 mil ha de lavoura têm concentração de nitrogênio na forma de nitrato acima do limite recomendado pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA). Esse limite é de 10 ppm e a maior fonte de contaminação da água subterrânea da região é o nitrogênio utilizado como fertilizante na cultura do milho. Tal problema poderia talvez ser minimizado com a adoção da tecnologia de Agricultura de Precisão na região por ele afetada para aplicação de fertilizantes nitrogenados.

GOERING (1992) representou o princípio da aplicação diferenciada de fertilizantes com um modelo bastante simples. Na Figura 1 é mostrada a situação em que a aplicação uniforme de fertilizante pode afetar negativamente a produtividade potencial quando as condições do solo variam dentro de uma mesma lavoura. A aplicação de fertilizante com taxa constante é representada pela linha horizontal cheia, sendo esta taxa excessiva para a área B, devido ao seu baixo potencial produtivo, e, no entanto insuficiente para que a máxima produtividade potencial da área A seja atingida. Com o uso das técnicas apregoadas pela agricultura de precisão segundo os autores, a taxa de aplicação pode ser reduzida na área B e proporcionalmente aumentada na área A. Como resultado, haverá manutenção ou uma pequena perda de produtividade no solo B e um ganho significativo no solo A. O resultado final será de um ganho de produtividade para toda a lavoura.

FIGURA 1 – RESPOSTA EM PRODUTIVIDADE DA CULTURA COMO FUNÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO
(ADAPTADO DE GOERING, 1992).



O conceito de agricultura de precisão, embora simples de ser entendido, pode requerer para sua adoção um conjunto bastante complexo de tecnologias como as listadas por SCHUELLER (1991): sensoriamento; manipulação de dados; controle; localização e informação geográfica.

As tecnologias de sensoriamento consistem em máquinas capazes de medir com a devida exatidão e precisão as quantidades que definem a variabilidade e que normalmente dizem respeito à cultura e ao solo. Estas podem ser divididas em três grupos: aquelas por deslocamento de sensor no campo, que tem a finalidade de obter medidas continuamente; aquelas que se utilizam da coleta de amostras com base em um quadriculado; e aquelas de sensoriamento remoto, com as quais se obtém dados à distância.

4.1.1 Sensoriamento direto

Nos últimos anos a engenharia tem desenvolvido muito a questão do sensoriamento, gerando diferentes tipos de sensores para distintas propriedades do solo e das plantas tais como aqueles para matéria orgânica e nutrientes do solo, suas propriedades físicas e para a produtividade de culturas existindo uma vasta lista de avanços nessa área (SCHUELLER, 1992).

4.1.1.1 Sensoriamento direto da colheita

Um dos fatores mais importantes para se avaliar a variabilidade do solo e estender as causas da produtividade é o registro desta por meio de sensores e mapas. Considerável esforço tem sido feito pelos pesquisadores visando o desenvolvimento de sensores de fluxo de grãos com vistas a sua utilização como monitores de colheita. Esses sensores medem o fluxo de massa diretamente ou a concentração instantânea de sólidos, juntamente com a velocidade do fluxo desses sólidos para deles obter o fluxo de grãos indiretamente. O método direto utiliza-se de uma placa de impacto com potenciômetro ou célula de carga para medir a força de impacto ou o torque aplicado à placa. Os métodos indiretos medem o volume de grãos nas taliscas do elevador da colhedora ou o volume que passa em uma dada seção do duto de grãos.

A geração de mapas de produtividade é considerada como uma das tarefas indispensáveis para o processo de diagnóstico da agricultura de precisão. A associação desses mapas a outros, que, por exemplo, expressem diferentes propriedades do solo

tem sido a ferramenta básica para o diagnóstico do problema que por sua vez embasa as recomendações em aplicação dos insumos com taxa variada.

Os mapas expressam os pontos que representam os dados obtidos do campo durante certos intervalos de tempo de sua coleta e relativos à largura da plataforma da colhedora. O grau de detalhamento dos mapas e sua própria interpretação visual variam muito em função do nível de detalhamento desejado (MOLIN, 1996).

BLACKMORE (1994) afirma que monitores de colheita têm estado no mercado da Inglaterra desde 1991. JENANE; BASHFORD (1995) propuseram um medidor que se utilizava da combinação de emissores e receptores de luz montados em um retângulo perpendicular ao fluxo de grãos, na saída do elevador do tanque graneleiro da colhedora. A mudança na voltagem devido à interceptação da luz pelo fluxo de grãos era correlacionada com esse último. SANAEI; YULE (1996) reportam testes de um monitor comercial de colheita equipado com um sensor infravermelho. Os autores descrevem uma quantidade considerável de testes, incluindo outros sensores que compõem o equipamento completo e alguns problemas de calibração e regulagem observados durante os testes. Da mesma forma, PEREZ-MUNOZ; COLVIN (1996) discutem extensivamente os testes de laboratório e de campo de um monitor de colheita que utiliza um sensor que mede a força do fluxo de grãos ao chocar-se na superfície de um elemento ativo.

Associado ao monitor de colheita, já são oferecidos no mercado, os sensores para medição da umidade dos grãos. Com isso o mapa de colheita é referido a um valor uniformizado de umidade. SANAEI; YULE (1996) mencionam basicamente dois tipos de sensores no mercado: os de coleta de dados intermitentes e os de medição contínua.

MANGOLD (1996) apresenta uma lista de 14 conjuntos de equipamentos de mercado, alguns deles associados a empresas que já produzem as colhedoras de grãos. Esses equipamentos constam de sensor de colheita, sensor de umidade do grão em alguns casos, monitor, DGPS e software para mapas.

Monitores de colheita para outros produtos que não grãos também têm sido propostos. HOFMAN et al. (1995) propuseram um sistema de monitoramento de colheita de beterraba açucareira por método gravimétrico, utilizando-se para tanto de

células de carga sob uma esteira transportadora em balanço. Uma proposta semelhante foi apresentada por HOLLIST et al. (1996) para um monitor de colheita de batatas. Eles utilizaram um par de células de carga sob a esteira rolante de descarga da recolhedora de batatas e um sensor que media a velocidade da esteira. AUERNHAMMER et al. (1995) desenvolveram um sensor para medição do fluxo de forragem picada em uma colhedora de forragem autopropelida para silagem. O trabalho desenvolvido na Alemanha utilizou uma fonte de isótopos e um sensor que mede a redução na intensidade da radiação, além de um radar para medir a velocidade do fluxo de material. Um sistema que mede a massa de feno agregada ao fardo em uma enfardadeira de fardo roliço foi proposta por BASHFORD et al. (1995). O sistema utiliza uma célula de carga em cada roda da máquina e uma terceira na barra de engate. Com a localização feita por DGPS, o sistema permite o mapeamento da produtividade de feno. KVIEN et al. (1995) reportam os primórdios do desenvolvimento de um monitor de colheita acoplado a uma recolhedora de amendoim, também baseado em sensores gravimétricos.

PANIGRAHI et al. (1995) fizeram uma revisão de trabalhos de pesquisa publicados até 1995, relativos a sensores para características físicas e químicas do solo tais como textura, matéria orgânica, umidade, nitrogênio na forma de nitrato e pH. Evidenciam o estágio ainda experimental da tecnologia na maioria desses sensores. SCHRAMM (1995) apresenta uma série de equipamentos disponíveis ao agricultor para a medição de parâmetros de fertilidade do solo. Todos os equipamentos listados têm como característica principal o fato de serem de fácil utilização, de relativo baixo custo, porém nenhum se enquadra como sensor para utilização em tempo real.

Tentativas de determinação indireta e instantânea do índice de matéria orgânica, no campo, têm sido apresentadas. GRIFFIS (1985) desenvolveu e testou um sensor fotoelétrico para quantificar o conteúdo de carbono do solo. Ele utilizou uma fonte de luz visível e uma de infravermelha e dois fototransistores que detectavam a luz refletida por uma superfície de solo pré-secado. O conjunto era montado em uma câmara fechada para evitar os problemas de flutuação da luz do sol. A solução proposta partiu do pressuposto de que haveria uma forma de transporte dessas amostras de solo intermitentemente até a câmara, durante a aplicação de herbicidas,

por exemplo. A correlação em testes de laboratório foi bastante promissora. PITTS et al. (1986) propuseram um sensor de cor refletida a um prisma e desse a um conjunto de filtros e seus respectivos fototransistores. A corrente nos fototransistores variava de acordo com a intensidade de luz recebida. Um modelo de ajuste foi desenvolvido para correlacionar o valor amplificado da corrente e o índice de matéria orgânica. A umidade do solo afetou os resultados com solos mais úmidos refletindo menos luz do que os solos mais secos. Uma proposta semelhante foi apresentada por SHANK; GAULTNEY (1988), com boa correlação entre luz refletida e conteúdo de carbono, especialmente para texturas fina e média e teores de matéria orgânica de 1 a 6 %.

Um sensor que mede a quantidade de nitrato no solo, montado na frente do aplicador de fertilizante, é descrito por GOERING; HAN (1993). O nível de nitrato detectado é então subtraído do total requerido para uma dada produtividade preestabelecida. O aplicador então dosa e distribui a quantidade devida de fertilizante nitrogenado. A determinação e o mapeamento dos índices de salinidade do solo foi testada com sensores de indução eletromagnética por CANNON et al. (1994). Esse princípio tem sido utilizado em outras aplicações como determinação da profundidade da camada de impedimento do solo DRUMMOND et al. (1995).

ZUO et al (1995) propuseram um sensor composto por fibras óticas e testaram em deslocamento de 5,08 mm/s para identificar a estrutura do solo. A mesma técnica foi proposta por IQBAL et al. (1996) para identificar a presença de superfície espelhada nas faces dos sulcos abertos por discos duplos de semeadoras. ROYTBURG; CHAPLIN (1995) propuseram hastes sensoras da condição de resistência do solo para monitorar a necessidade de preparo localizado do solo.

Um sensor que mede a população de plantas de milho foi proposto por BIRRELL; SUDDUTH (1995). O equipamento foi montado na plataforma de milho de uma colhedora e consiste de um potenciômetro rotativo acoplado a um batente que desarma quando em contato com cada planta. Outro sistema baseado em sensores fotoelétricos foi proposto por PLATTNER; HUMMEL (1995). A interrupção de um feixe de luz causada pela planta de milho registra a sua presença, sendo possível detectar o espaçamento entre plantas, as falhas e a presença de plantas duplas, com velocidades de até 3 m/s.

A obtenção de dados por amostras para medir variabilidades em campo é geralmente bastante precisa, no entanto requer tempo e tem um custo significativo em termos de análises (SCHUELLER, 1992). As amostras são normalmente tomadas seguindo um quadriculado. Métodos geoestatísticos de interpolação entre os pontos amostrais são então utilizados para construir o mapa de campo. A resolução do quadriculado é à distância entre os pontos amostrais. Aumentar essa resolução é sempre desejável, porém a limitação é normalmente de custo.

4.1.2 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é a técnica de coleta de informações à distância. Hoje, a grande maioria dos mapas de recursos naturais são obtidos por meio de imagens de fotografia aérea, radar aéreo ou imagem de satélite. O uso dessas informações por parte dos agricultores ainda não é viável por vários motivos. Por exemplo, as imagens aéreas geram informações limitadas à superfície do solo e das plantas. Sua obtenção tem um custo individual significativo para agricultores. Ao mesmo tempo, essas fotos exigem a interpretação de especialistas para traduzir o que realmente estão representando.

No entanto, é de se esperar que embora não seja ainda uma tecnologia de uso em larga escala, no futuro será possível a utilização de fotos aéreas digitalizadas para o controle de aplicação localizada de insumos. No momento a limitação está em se estabelecer a ligação entre o que a imagem de uma foto aérea do solo ou da folhagem da cultura mostra e as causas da variabilidade e possíveis ações para reduzir essa variabilidade.

A utilização de fotos aéreas para estimativa de índice de matéria orgânica foi testada por BLACKMER; SCHEPERS (1996). Na busca de possíveis soluções para controlar a aplicação localizada de nitrogênio eles testaram fotos aéreas do solo, antes e após o plantio de milho. Também utilizaram sensores óticos instalados a uma dada altura acima do veículo aplicador de nitrogênio que mediam a luz refletida pelo milho. Trabalhos semelhantes foram conduzidos por KVIEN et al. (1995) em lavouras de algodão e amendoim e por HEEGE; REUSCH (1996) em trigo. Esses últimos alertam

para o fato de que o método de medição da demanda de nitrogênio pela refletância das folhas pressupõe boa correlação entre os dois fatores. No entanto, a coloração pode ser afetada por outras deficiências ou mesmo doenças. STONE et al. (1995) trabalhando com trigo, utilizaram sensores de radiância espectral montados na frente de um trator em pequenas parcelas para correlacionar esse dado com a produção de matéria seca e nitrogênio absorvido. Os autores observaram alta correlação entre a refletância e o nitrogênio absorvido.

A aquisição de dados em agricultura de precisão gera uma quantidade enorme de informações e esses dados tendem a aumentar na medida em que as correlações entre fatores de produção vão se solidificando por meio da pesquisa. A forma de análise dos dados vai depender do método de coleta, se por sistema contínuo, por amostras, ou por sensoriamento remoto. Porém é inevitável que vastas quantidades de dados só possam ser manipulados por métodos computacionais.

4.2 Estudos em Agricultura de Precisão

DRUMMOND et al. (1995) investigaram vários métodos de análise multivariada com dados de produtividade de duas safras, uma de milho e outra de soja, em uma área de 25 ha. Foram cruzados dados de fertilidade do solo (fósforo, potássio, pH, matéria orgânica, magnésio, cálcio, CTC e saturação de alumínio). Poucos coeficientes de determinação superaram o valor de 50% e uma análise visual dos mapas de produtividade dos dois anos indicou que a condição climática foi o fator que mais influenciou na produtividade. No primeiro ano a precipitação foi uniforme e abundante, chegando a causar problemas de drenagem, enquanto que na segunda temporada de dados houve estresse hídrico ao longo de toda fase de crescimento da cultura. Já HEINIGER; BRAKE (1996) apresentam dados que mostram uma boa tendência de correlação entre produtividade de trigo e pH numa condição particular.

Uma das ferramentas recentemente desenvolvida para manipular matematicamente a variabilidade espacial dos dados é a geo-estatística. A grande maioria dos experimentos agronômicos selecionam parcelas homogêneas, dessa maneira a significância estatística dos efeitos de tratamentos pode ser determinada.

SCHUELLER (1992) menciona que devido à heterogeneidade de campo, muitos dos procedimentos de pesquisa realizados em parcelas, respondem diferentemente a campo.

A amostragem pontual tem mostrado que normalmente existe uma variabilidade muito grande nas propriedades do solo e das culturas. Essa variabilidade cresce com o tamanho da lavoura. A base da geo-estatística, segundo GOERING; HAN (1993), vem da teoria da variabilidade regional de Matheron. Essa teoria diz que a diferença no valor de uma dada variável (do solo, por exemplo) entre dois pontos do campo, depende da distância entre esses dois pontos. A diferença entre os valores da variável tende a ser menor para locais próximos e maior para pontos mais distantes entre si.

A densidade de amostras em campo para caracterizar a variabilidade ainda é bastante discutida. WOLLENHAUPT et al. (1994) testaram métodos de amostragens de solo para mapeamento de P e K com fins de correção desses fatores com aplicação localizada de fertilizantes. Utilizaram amostragem pontual em torno das interseções de um quadriculado de 32 m, com 8 sub-amostras misturadas para representar um ponto. Outros métodos consistiram em sub-amostrar de 5 a 72 pontos do interior de células de 32 a 100 m de lado. Os melhores resultados foram obtidos com amostras pontuais e a recomendação foi de que as amostras devam ser coletadas em arranjo triangular ou outro não alinhado. A distância entre pontos seria dependente da variabilidade de cada lavoura, mas não deveria exceder 100 m. Já FIXEN (1994) menciona que essa distância deveria ficar entre 60 e 135 m. BULLOCK et al. (1994) testaram dois tamanhos de células (1 ha e 0,25 ha) para amostragem de solo para pH, P e K e comparando as duas situações não observaram ganhos significativos em economia de fertilizante em aplicação localizada.

MOHAMED et al. (1996) concluíram que a otimização na aplicação de fertilizantes utilizando técnicas de mapeamento pode reduzir custos de produção e o impacto ambiental, e sugerem que intervalos de amostragem inferiores a 50 m não são necessários. Distâncias de amostragem acima de 100 m para estudo das propriedades do solo de interesse agrônomo também foram consideradas por WEBSTER; McBRATNEY (1987) e MULLA (1992). Eles sugeriram um intervalo ótimo de

amostragem de solo entre 50-100 m. MULLA; HAMMOND (1988), citados por HAMMOND (1992), concluíram que uma malha de amostragem de 60 m era adequada para desenvolver mapas de solo, e que a partir de 120 metros havia significativa perda de detalhes. Na prática malhas maiores que 120 m são inapropriados para a maioria das técnicas de mapeamento, devendo ser usado apenas em áreas maiores que 70 hectares.

FERGUSON et al. (1996), estudou uma parcela de 90m x 500m (4,5ha) utilizando-se de um padrão de amostragem triangular, pois segundo PARKHUST (1984) e YVANTIS, et al. (1987), desta maneira obtém-se informações confiáveis a um custo reduzido quando comparado a padrões de amostragem regulares.

A forma de se obter a melhor amostragem em um quadriculado de campo é abordada por WOLLENHAUPT; WOLKOWSKI (1994a). Eles sugerem a tomada de amostra aleatoriamente, dentro de cada célula. Hoje, alguns dos softwares de mapeamento já oferecem a possibilidade de se sortear a posição enquanto percorrendo o campo para a coleta das amostras com navegação via DGPS (Differential Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global Diferencial).

ANDERSON (1995a) propôs um amostrador de solo que pode ser montado em veículos normais, quadriciclos ou tratores para amostragem rápida com acionamento hidráulico. Associado ao coletor, o equipamento oferece um sistema de coleta de dados com identificação das amostras e sua localização via DGPS.

4.2.1 Mapeamento de lavouras comerciais

O mapeamento da produtividade de culturas de cereais tem sido estudado desde 1984 quando foram realizadas as primeiras tentativas de se utilizar sensores para determinar a quantidade de grãos conduzidos ao tanque da colhedora por unidade de tempo. Após estes trabalhos pioneiros diversos sistemas foram desenvolvidos para o mapeamento da produtividade de culturas de cereais como aqueles descritos por SABIR et. al. (1976), BAERDEMAEKER et al. (1985), SEARCY (1989), WAGNER; SCHROCK (1989), VANSICHEN (1993), AUERNHAMMER et al. (1994), REITZ;

KUTZBACH (1994), HUMMEL et al. (1995) e MURPHY et al. (1995) e BALASTREIRE et al. (1997).

Todavia, quando se refere a mapeamento da produtividade de outras culturas além de cereais, muito pouco se tem feito, principalmente para as culturas de grande importância para o Brasil, como a cana-de-açúcar, café e laranja. Com relação a laranja um dos primeiros trabalhos realizados para o mapeamento da produtividade foi realizado por WHITNEY et al. (1998) em um estudo de aplicações dos conceitos de Agricultura de Precisão a esta cultura. Os autores obtiveram mapas de produtividade de laranja baseados na localização de containers utilizando-se um caminhão convencional para o carregamento das frutas, colhedores e componentes para GIS/GPS. Estes mapas foram sobrepostos em mapas de solos e fotografias aéreas das copas das árvores. Os resultados mostraram que os pesos obtidos pelo sistema de pesagem no caminhão variaram entre 1 a 6% do peso certificado de cargas de frutos de 20 toneladas. CHAN et al. (1999) afirmam que o mapeamento da produtividade de culturas de laranja colhidas manualmente requer a conversão de dados obtidos por linhas de plantio em mapas de linhas de contorno. O trabalho relata a experiência na utilização de técnicas de interpolação de “krigagem” e ponderação pelo inverso da distância e vários outros fatores em um talhão. Os erros na estimativa da produtividade obtidos pela interpolação utilizando-se ambos os métodos citados foram estimados em menos de 7%. Os autores concluíram que a análise de erros de interpolação no mapeamento de produtividade baseada nos dados totais de colheita é insuficiente e um método mais intenso seria necessário para quantificar erros nessas regiões.

WINKLER et al. (2000) realizaram um estudo em soja para encontrar correlações entre covariáveis ambientais de diferentes características agronômicas, utilizadas para analisar o grau de similaridade em suas tendências espaciais. A produtividade, o teor de proteína, e o tamanho dos grãos foram mais influenciados por variações espaciais do que o tempo de florescimento, tempo de maturação e teor de óleo. Nos experimentos de campo com um alto grau de heterogeneidade espacial, as correlações entre covariáveis ambientais da produtividade e teor de proteínas dos grãos foram positivas e altamente significativas. Isto indicaria que condições de campo que promovem a produtividade iriam também aumentar o teor de proteínas. Os padrões de

variação observados afetaram consideravelmente o cálculo de coeficientes fenotípicos de correlação entre produtividade de grãos e teor de proteínas, sugerindo que a análise espacial deveria ser aplicada a todas as características de interesse, quando as condições de campo não são homogêneas.

4.2.2 Aplicação de insumos em dose variada

Depois de estabelecida uma desejada ação, fruto da análise dos dados, é a vez da operação de campo com a aplicação dos insumos em dose variada. Considerando a localização do equipamento no campo e o mapa de aplicação preestabelecido, os mecanismos dos aplicadores devem, ao ser acionados, responder com relativa rapidez. Os aplicadores devem ser equipados com sistemas de controle que comandam os mecanismos para ajustar os dosadores às quantidades desejadas de um dado insumo. Atuadores hidráulicos ou mecânicos podem ser controlados eletronicamente.

SCHUELLER (1992) discute extensivamente algumas das áreas de maior potencial para o controle de aplicação variada. As técnicas de aplicação localizada de fertilizantes e de defensivos tem sido as duas maiores áreas de concentração de esforços em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia. A terceira área seria a de semeadura controlada visando variação de população, controle de profundidade de semeadura de acordo com a umidade do solo e controle localizado de variedades. A quarta área potencial seria a do controle localizado da intensidade de preparo do solo.

Independentemente da origem, por processos naturais de clima e solo ou por diferenças em manejos das culturas, a variabilidade de campo deve ser administrada apropriadamente em agricultura de precisão. Diferentes formas de analisar o problema tem sido propostas. GOERING; HAN (1993) e BLACKMORE (1994) mencionam duas alternativas estratégicas associadas à agricultura de precisão. A primeira seria de se obter produtividades maiores utilizando a mesma quantidade de insumos consumida em aplicação uniforme e a outra seria de se produzir o mesmo que em aplicação uniforme, mas com menos insumos.

SCHUELLER (1992) classifica cinco diferentes estratégias de ação para o manejo da variabilidade de campo: 1. Controle homogêneo; 2. Controle automático ou por sensor; 3. Controle via mapa; 4. Controle multi-variado de variabilidade espacial; 5. Controle por meio da variabilidade espacial histórica.

O controle homogêneo não considera variabilidade do campo. Como exemplo, as amostras de solo são coletadas, misturadas e a análise resulta na recomendação de aplicação uniforme para todo o campo. O comando do atuador do aplicador é único para toda a extensão da lavoura, o que corresponde a uma única posição de regulação do mecanismo dosador.

A utilização de um sensor para o controle automático do processo não é novidade na área de máquinas agrícolas. Harry Fergusson o utilizou quando inventou o sistema de compensação do engate de três pontos do trator. A premissa era de fazer variar a profundidade de aração para manter constante a força de tração. No caso presente o sensor é qualquer dispositivo que quantifica a variabilidade e informa o controle do atuador que fisicamente ajusta a dosagem.

Com o uso da estratégia de controle via mapa o sensoriamento e a aplicação são efetuados em etapas distintas. Uma dada propriedade do solo ou da cultura é quantificada e as informações geram o mapa de variabilidade. O campo é então dividido em células e a dosagem do referido insumo é atribuída a cada uma por meio de modelos ou decisões, gerando então o mapa de aplicação. As coordenadas de campo e as taxas de aplicação são armazenadas na memória do controle que comanda o atuador a ajustar o mecanismo dosador para a devida dosagem em cada local do campo. Esse sistema exige equipamento de localização do aplicador no campo, bem como de equipamento que armazene o mapa de variabilidade e o mapa de aplicação. O sistema de controle multi-variado difere do anterior por utilizar múltiplos mapas de variabilidade, ou seja, mais do que uma variável de campo é levada em consideração. A combinação desses mapas gera o mapa de aplicação para cada ponto da lavoura.

No controle por variabilidade histórica as informações baseiam-se em dados anteriores numa sequência histórica da área. Com isso, fatores como variações climáticas podem ser considerados. O mapa de aplicação é então gerado baseado nessa sequência de informações.

Muitos autores consideram apenas duas estratégias de controle da aplicação dos insumos com dose variada. GAULTNEY (1989) e GOERING; HAN (1993), por exemplo, consideram a ação por controle automático ou por mapa. O controle automático implica em uma ou mais variáveis sendo medidas por sensores e esse sinal controlando o aplicador. De acordo com os estudos de SCHUELLER (1992), GOERING; HAN (1993) e NEUHAUS; SEARCY (1993) como o sensoriamento e a aplicação são executados ao mesmo tempo, o processo deve ser rápido e preciso para que a dose desejada seja aplicada no local certo. Uma importante vantagem desse sistema é o fato de se estar identificando a necessidade e aplicando o insumo sem lapso de tempo, o que em muitos casos é uma fonte de variação. A rigor, o sistema não necessita de um método de localização, no entanto o registro da aplicação é uma informação histórica importante, o que demanda um sistema de localização e medição do fluxo do insumo aplicado.

O sistema de aplicação localizada de insumos controlada por mapa, divide o campo em isolinhas ou células e a quantidade a ser aplicada varia entre elas. Esse método exige sistema de localização tanto para a obtenção dos dados quanto para equipar o veículo aplicador e a correspondência entre os dois é crucial para a precisão da aplicação. Nesse caso pode haver comprometimento na qualidade das informações que variam com o tempo. GAULTNEY (1989) alerta para o fato de que esse método exige uma quantidade bastante grande de dados a serem coletados, armazenados e manipulados. Além disso, a precisão depende da proximidade entre os pontos amostrais. Por outro lado o controle por mapas permite planejamento e decisões antes da aplicação dos insumos. O autor aponta para o fato de que algumas variáveis como matéria orgânica e drenagem do solo não variam de ano para ano. Isso significa que a não repetição de mapas dessas variáveis se justifica economicamente, uma vez que um mesmo mapa de uma mesma área pode servir em longo prazo.

A combinação dos dois métodos anteriores parece ter as melhores chances no futuro próximo. Um exemplo seria um aplicador de fertilizante equipado com um sensor de nitrato associado ao mapa de propriedades físicas do solo.

Um aplicador de fertilizante nitrogenado líquido foi proposto e testado por WHITNEY et al. (1995) para a cultura do trigo, utilizando sensores de radiação

espectral, como descritos por STONE et al. (1995). O aplicador foi composto por vários conjuntos de bicos ao longo de uma barra transversal. Cada conjunto possuía oito bicos que faziam a aplicação em uma linha da cultura. Essa proposta embasou-se na definição do tamanho da cela para aplicação de nitrogênio por cobertura em trigo com a utilização de sensores em tempo real. O tamanho dessa cela, segundo SOLIE et al. (1995), seria de 0,57 m².

Um pulverizador para aplicação de herbicidas em doses variadas foi desenvolvido na Inglaterra por PAICE et al. (1995). Os resultados mostraram que é possível ajustar a dosagem com uma margem de erro de +/- 5% do valor desejado. Quando injetando o princípio ativo, o tempo de retardo entre a injeção e a chegada da mistura nos bicos resultou em $3,5 \pm 0,5$ s. À distância percorrida entre o comando para uma troca na dosagem e a sua chegada nos bicos girou em torno de 11 m. Esse sistema foi aprimorado e é apresentado por MILLER; STAFFORD (1995), podendo injetar instantaneamente dois tipos de herbicida, imediatamente antes dos bicos e com um tempo de retardo de 0,2 segundos. Tempo de retardo ainda menor (0,1 s) é o que foi alcançado por BENNETT; BROWN (1995) com um sistema que utiliza a injeção do princípio ativo direta e independentemente para cada bico da barra pulverizadora. MOTZ; SEARCY (1995) utilizaram a técnica de pré-alimentar o sistema com informação de mapa, para compensar o tempo de retardo na injeção direta de defensivos agrícolas.

A variabilidade espacial de plantas invasoras tem induzido a novas técnicas por parte da indústria. HOLMBERG (1996) reporta experiências de várias companhias produtoras de herbicidas que a partir de 1993-94 vem testando aplicação com doses variadas de seus produtos. As doses normalmente baseiam-se na variação do índice de matéria orgânica e CTC (capacidade de troca catiônica) do solo. KVIEN et al. (1995) também descrevem experiências envolvendo a aplicação localizada de herbicida em culturas como soja, amendoim e algodão. Eles geraram os mapas de localização das áreas infestadas por meio de deslocamento com veículo equipado com DGPS e um software de mapa. Com esses mapas, o computador de bordo do aplicador comanda a aplicação localizada.

GANDRUD et al. (1993) descrevem um sistema que governa a aplicação de materiais granulados a lanço pelo controle da rotação do mecanismo dosador. No entanto pouca informação é dada a respeito do desempenho do equipamento. ANDERSON (1995b) menciona que em 1987 já era disponível no mercado americano uma semeadora pneumática de fluxo contínuo com variação do fluxo de sementes por atuador linear de acionamento manual. Motores hidráulicos substituíram os atuadores lineares nesse mesmo produto em 1994. Ele passou a ser também equipado com DGPS e mapeamento digital do campo para aplicação localizada de outros materiais sólidos como fertilizantes.

Um sofisticado sistema de aplicação localizada de sólidos, ou líquidos é descrito por MONSON (1995). O sistema de controle é acoplado a veículos aplicadores que são equipados com tanques para aplicação simultânea de até 9 produtos secos, ou tanques para até 6 produtos líquidos.

Um sistema relativamente simples de regulação de dosadores para semeadoras de fluxo contínuo foi proposto por BAHRI (1995). Ele propôs, inicialmente, um atuador hidráulico que aumentava ou diminuía o fluxo de sementes de trigo dentro dos dosadores de cilindro canelado. Numa segunda etapa, foi proposto um sistema acionador independente da velocidade linear da máquina. Foi utilizado um moto-variador controlado por um potenciômetro. O tempo de resposta ao comando de variação do fluxo de sementes foi de 5,6 s no primeiro sistema e de 3 a 9 s para o segundo sistema, dependendo da magnitude da mudança.

A mudança de variedades para diferentes condições de solo e relevo pode ser uma alternativa em algumas culturas. WHITE et al. (1996) propuseram uma semeadora de fluxo contínuo com três compartimentos de sementes para três variedades de trigo. A seleção das variedades é feita em função do relevo do terreno. O sistema, monitorado por DGPS, aciona a troca de variedades com a máquina em operação, no campo.

A aplicação localizada de água e nutrientes via irrigação por pivô central, também já foi proposta, CAMP; SADLER (1995) equiparam dois pivôs com um sistema que subdivide sua extensão em setores de 10 m de comprimento, sendo então

possível tratar cada pequeno setor da lavoura individualmente, variando vazão e velocidade de avanço do pivô.

A agricultura de precisão tem como premissa à aplicação dos insumos com dose variável e correta. É imprescindível a correta localização do equipamento de campo para a coleta de dados em tempo real como produtividade, características físico-químicas do solo ou coleta de amostras para posterior análise. Da mesma forma, a determinação da localização do aplicador é crítica para a deposição correta de fertilizantes, corretivos, sementes e defensivos.

SCHUELLER (1992) sugere o agrupamento dos sistemas de localização em três grupos: 1. direção e distância; 2. triangulação de ondas eletromagnéticas e 3. satélite (LORAN-C, GPS, GLONASS). ROCKWELL; AYERS (1994) descreveram um método de localização de veículos no campo baseado em um sistema que utiliza um sensor de distância e um outro de ângulo de esterçamento. Concluíram que a precisão desse sistema é limitada, resultando em erros não compatíveis com a aplicação localizada. Também descreveram um sistema de localização por triangulação de microondas eletromagnéticas que são refletidas e retornadas ao veículo para determinação do seu posicionamento. Obstáculos como construções, árvores e elevações podem bloquear o sinal e significam sérias limitações desse sistema.

De acordo com SHROPSHIRE et al. (1993) e SCHUELLER (1992) o GPS (Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global) é considerado hoje o sistema mais adequado de posicionamento para aplicações agrícolas. O sistema compara o sinal emitido por satélites e aquele gerado no receptor de GPS. A partir da posição conhecida dos satélites e o tempo que o sinal demora para percorrer a distância entre os dois, o receptor determina a sua posição na superfície da terra (latitude, longitude e altitude). Esse sistema já oferece precisão abaixo de 1 m em alguns conjuntos de equipamento e, de maneira geral, na ordem de 1 a 5 m, com o uso de GPS diferencial (DGPS), o que é considerado suficiente na maioria das aplicações em agricultura de precisão.

A figura 2 representa as etapas em agricultura de precisão que são: A colheita georreferenciada na qual se obtém as informações de produtividade da área em tempo real; as amostragens de solo que permitem identificar as variações de

fertilidade da área para uma posterior aplicação localizada de insumos com a finalidade de corrigir deficiências ou incrementar os rendimentos, salientando a importância fundamental do componente humano no processo de aquisição e interpretação dos dados obtidos.

FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SISTEMA AGRICULTURA DE PRECISÃO EM ÁREAS COMERCIAIS DE CULTIVO DE GRÃOS.



4.2.3 Análises e considerações econômicas

Como a prática de agricultura de precisão implica em assumir novos custos com investimento em equipamentos e instrumentação, a linha do lucro deve ser identificada de alguma maneira. Como os equipamentos envolvidos evoluem numa velocidade muito grande, a obsolescência passa a ser um custo adicional importante. Para LOWENBERG-DEBOER; SWINTON (1995) esses equipamentos podem ser considerados ultrapassados depois de dois ou três anos.

FIXEN (1994) analisou o que denominou de potencial de produtividade do solo, com base nas suas características químicas. Observou casos em que a variabilidade espacial de pH, P e K reduziu o potencial de produtividade do solo em

algumas áreas a 73% e a média geral das áreas amostradas ficou em 88%, quando consideradas como áreas uniformes.

HAMMOND (1994) observou que em várias áreas testadas não houve economia de fertilizante. O que houve foi uma diminuição significativa no erro de dosagem, ou seja, extensas áreas receberiam menos do que o recomendado e outras mais, se em aplicação convencional (uniforme). Uma análise com células de respectivamente 4,0 ha; 1,0 ha e 0,25 ha em aplicação localizada de fertilizantes mostrou que a cela de 4,0 ha resultou no maior lucro em um estudo de caso em Illinois, EUA (HORNBAKER et al. 1993).

O custo da aplicação com dose variável, incluindo a amostragem e análise, varia em função do quadriculado das amostragens e cresce rapidamente para celas com menos de 60 m de lado, conforme demonstrado por WOLLENHAUPT; WOLKOWSKI (1994b) e STONE et al. (1995), trabalhando em pequenas parcelas, fizeram comparações entre aplicação fixa e variada de nitrogênio em trigo. Embora não tenham observado diferença significativa em produtividade, obtiveram redução na aplicação total de nitrogênio de até 50%.

Uma abordagem bastante abrangente da resposta econômica das técnicas de agricultura de precisão é apresentada por LOWENBERG-DEBOER; SWINTON (1995). De uma análise de vários estudos do gênero, ficou evidente a incipiente quantidade de informação e inadequada metodologia adotada na maioria dos trabalhos. De maneira geral os custos da obtenção das informações e do treinamento do pessoal envolvido não foram considerados. Problemas como alta fertilidade inicial das áreas experimentais resultaram em ganhos desprezíveis em produtividade, restando como maior benefício a economia na aplicação de fertilizantes de baixo custo. A diluição de custos fixos em períodos curtos e fixação de quadriculados muito pequenos para as amostragens também contribuíram para a obtenção de custos elevados. De maneira geral, os resultados econômicos levantados não apontaram lucratividade.

WHITNEY et al. (1995) fizeram simulações e uma análise econômica da aplicação com dose variável de nitrogênio em cobertura em trigo, guiada por sensor em tempo real e a compararam com a aplicação de taxa uniforme. Considerando o custo do fertilizante e a perda de produtividade causada pela deficiência de nitrogênio,

sugeriram que a aplicação uniforme resultaria em um custo direto e indireto de 26,85 dólares por hectare maior que a aplicação localizada com células de 0,56 m². Esse valor representa 75% do custo da adubação nitrogenada em questão.

Em muitos casos a aplicação localizada de insumos deve ser considerada após uma boa análise das condições correntes. Uma interessante análise econômica é feita por YULE; CROOKS (1996) a respeito das perdas em culturas como trigo e cevada como consequência da falta de uma regulação apropriada em aplicadores de fertilizantes a lanço, na Inglaterra. Coeficientes de variação (CV) na distribuição transversal da ordem de 7,6% resultaram em benefício econômico da ordem de 15 a 17 libras esterlinas por hectare quando comparados com máquinas mal calibradas e com CV da ordem de 28,9%.

Como foi apontado por LOWENBERG-DEBOER; SWINTON (1995), a definição do nível de detalhamento necessário para a tomada de decisões, bem como a escala temporal e espacial para a coleta de dados, são questões ainda sem uma resposta precisa e que afetam sensivelmente o custo do sistema e conseqüentemente, a sua rentabilidade. Os mesmos autores apontam para mudanças que poderão advir e que devem ser consideradas como hipóteses a serem observadas na medida em que a tecnologia for se desenvolvendo para então serem quantificadas e seus efeitos incorporados nas análises de custos. A agricultura de precisão terá um efeito agregador, resultando em aumento do tamanho das propriedades em função da automação na coleta de dados e tomada de decisões. Da mesma forma, a vinculação direta entre produtores, fornecedores de insumos e transformadores da produção poderá gerar novos e mais eficientes métodos de produção.

4.3 O Solo como Objeto de Estudo

A gênese do solo é resultante da atuação de fatores e processos de formação e o produto final é bastante heterogêneo em relação às suas propriedades e características, WARRICK; NIELSEN (1980) e SILVA et al. (1989). Suas propriedades físicas e químicas também são heterogêneas tanto em superfície como em profundidade RUSSO; BRESLER (1981).

O solo é um sistema multicomponente, integrado pelas fases sólida, líquida e gasosa. Essas duas últimas são complementares: a máxima presença de uma implica na ausência da outra. A fase sólida é constituída de partículas minerais, na grande maioria, e de substâncias orgânicas. Esses compostos orgânicos e os minerais sólidos possuem variadas formas, tamanhos e composições químicas, constituindo o que se chama matriz do solo, (PREVEDELLO, 1996).

A variabilidade espacial de um solo pode ser definida como sua variação tanto no sentido vertical quanto no sentido horizontal CASSEL; NELSON (1985). Para instalação de qualquer estudo sobre solo, BALL; WILLIAMS (1968), em estudo sobre variabilidade de propriedades químicas em solos não cultivados, concluíram ser indispensável considerar quantitativamente a variabilidade espacial. A variabilidade espacial da resistência a penetração em um Latossolo Vermelho Escuro, ao longo de um transecto de 40m, com amostragens espaçadas de 10 cm, foi avaliada por SILVA et al. (1989), que observaram grande variabilidade da área quanto ao fator estudado, assim como a ocorrência de variações cíclicas ao longo da transeção devido ao intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas. Na área agrônômica, a maioria dos trabalhos envolvendo variabilidade espacial relacionam-se a solos. Um dos trabalhos pioneiros no estudo de fatores de variabilidade associados à produção foi apresentado por STERN (1981) e BRESLER et al. (1982).

No Brasil, um dos trabalhos pioneiros no estudo da variabilidade espacial de fatores de solo e de planta foi desenvolvido por PREVEDELLO (1987) em área considerada “homogênea” para propósitos agrícolas; concluindo que as dependências espaciais mostravam-se de longo alcance no sentido do comprimento da área.

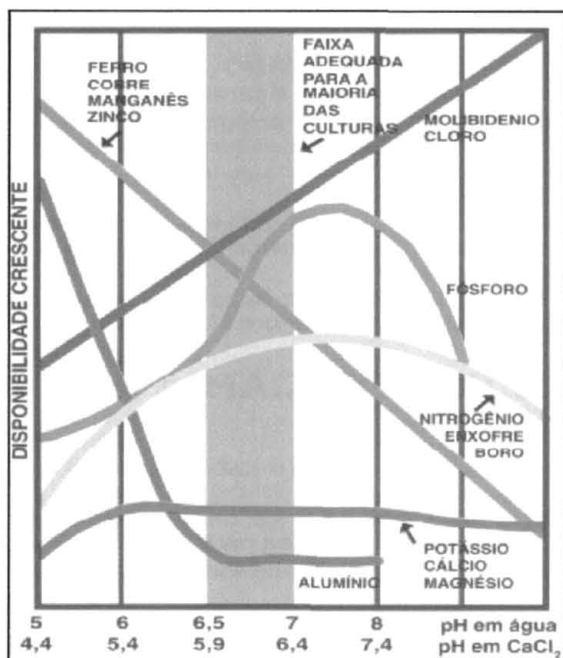
O trabalho concluiu ainda que a área em estudo não se mostrou homogênea para nenhum dos 47 fatores considerados.

Desta maneira, espera-se que a fertilidade, a população microbiana ou os teores de matéria orgânica variem segundo a matriz do solo ou do seu manejo (LUCCHESI, 1988).

4.3.1 A Fertilidade do solo

O pH do solo é o fator que mais influencia a disponibilidade dos nutrientes essenciais, benéficos e tóxicos. Na Figura 3 esta representada a faixa ideal de pH CaCl_2 que esta compreendida entre 5,9 a 6,4 onde há uma maior disponibilidade dos nutrientes para as plantas LOPES (1989) adaptado de MALAVOLTA (1980).

FIGURA 3 – RELAÇÃO ENTRE PH E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NO SOLO (ADAPTADO DE MALAVOLTA, 1980).



O termo P disponível é geralmente utilizado para indicar a fração de P no solo que pode ser utilizada pelas plantas. Este termo, entretanto é muito vago e usualmente refere-se ao método de extração utilizado os quais geralmente não correspondem à real resposta das culturas WERNER (1969).

O P disponível se origina da solubilização de minerais fosfatados, da mineralização da matéria orgânica e da adição de fertilizantes. Grande parte do P no solo está na forma insolúvel, não sendo disponível para as plantas. KARDOS, (1955) denominou fixação, o processo pelo qual os nutrientes passam de formas solúveis para formas menos solúveis, através de reações com componentes orgânicos ou inorgânicos. No caso específico do P, de acordo com FASBENDER, (1969) fixação é a transformação de fertilizante fosfatado em uma forma menos solúvel devido a reações no solo.

O P é o décimo elemento na natureza JACKSON, (1965). No entender de SEATZ; STANBERRY, (1963) é o nutriente de planta que tem merecido maior estudo no que toca a fertilidade do solo e, apesar disso, seu comportamento constitui um dos problemas mais contraditórios.

O P se acumula no perfil do solo de acordo com a distribuição da matéria orgânica. O exaurimento do subsolo é devido à absorção radicular e o enriquecimento da camada superior à acumulação de resíduos orgânicos. O modelo de distribuição descrito sofre variações devidas ao cultivo, a adubações, a pequenas lixiviações, etc. (MELLO, 1983).

Estudando as mudanças de pH na região próxima as raízes de soja, induzidas por diferentes formas de fornecimento de N relacionado com a absorção de P, RILEY e BARBER (1971) mostraram claramente que a assimilação do P é afetada pelo pH.

A absorção de um nutriente também pode ser influenciada pela sua concentração relativa outro, pelo aumento na densidade do solo e/ou presença de camada compactada, presença de elementos tóxicos como alumínio e manganês, local de distribuição do adubo, composição mineralógica e umidade do solo.

Sabendo-se que as plantas extraem pouco P do solo em relação ao N e ao K e que as quantidades de adubos fosfatados, de um modo geral equivalem ou mesmo superam às dos nitrogenados e potássicos, pode-se ter uma idéia da importância da fixação.

Tem-se proposto diversos mecanismos para explicar a fixação do P pelo solo. Desde que o máximo de solubilidade desse elemento no terreno se verifica em

pHs próximos da neutralidade, aumentando a fixação com o aumento da acidez ou da alcalinidade, deve-se compreender que existem processos que agem em solos ácidos, processos que operam em solos alcalinos e processos comuns aos dois casos que causam fixação em qualquer ponto da escala pH (MELLO 1983).

Segundo CATANNI; PELEGRINO, (1957) em solos do Estado de São Paulo, ácidos ou com tendência para se tornarem ácidos e com um teor médio a alto de óxidos hidratados de Fe e de Al, a adsorção do íon fosfato às partículas coloidais constitui a causa mais importante da fixação do P.

SAUCHELLI, 1965 conclui que o processo de fixação é muito complicado e que há muito a aprender acerca de sua natureza em diferentes tipos de solos, pois a informação obtida em um tipo de solo não é necessariamente verdadeira para outro e os resultados obtidos em uma região podem não ser verdadeiros para outras onde as condições de clima, solo, etc., são diferentes.

A quantidade de P presente na solução do solo, mesmo em solos com um elevado teor de P disponível está apenas na faixa de 0,3 a 3 kg/ha. Em pleno desenvolvimento a absorção de P pelas plantas chega a 1 kg/ha/dia, isso mostra claramente que a solução do solo necessita ser reabastecida com P várias vezes ao dia pela mobilização do fosfato existente no solo.

À medida que as raízes se desenvolvem no solo, elas entram em contato com o fosfato presente na solução do solo. Contanto que as raízes tenham uma alta demanda por P, o que geralmente ocorre às plantas em fase de desenvolvimento, a taxa de absorção de fosfato pelas raízes é alta o que faz com que na região próxima a estas. A solução do solo tenha seu conteúdo em fosfato esgotado, este esgotamento cria um gradiente entre a concentração de fosfato na região próxima a raiz e o restante do solo, regulando a taxa de difusão do fosfato em direção as raízes das plantas, OLSEN; WATANABE (1970).

O transporte de fosfato em direção as raízes das plantas também pode se dar por fluxo de massa. Entretanto, normalmente esta contribuição é mínima uma vez que a concentração de fosfato na solução do solo é muito baixa, BOLE (1973).

As raízes da plantas são capazes de extrair fosfato de soluções onde a sua concentração seja muito baixa LONERAGAN; ASHER (1967). Geralmente o

conteúdo de fosfato das células das raízes e da seiva do xilema é aproximadamente 100 a 1000 vezes maior do que o presente na solução do solo. Isto mostra que o fosfato é retirado pelas células das plantas contra um enorme gradiente de concentração. A absorção é ativa. A relação entre o metabolismo da planta e a absorção de fosfato tem sido estudada por diversos autores os quais tem observado incrementos nas taxas de assimilação de fosfato associadas à elevada atividade metabólica MENGEL; KIRKBY (1982).

O fosfato absorvido pelas células das plantas, é rapidamente envolvido nos processos metabólicos. Assim JACKSON; HAGEN (1960) informaram que decorridos apenas 10 minutos após a assimilação, 80% do fosfato absorvido estava incorporado aos compostos orgânicos. O fosfato é prontamente móvel na planta podendo sua translocação ser acropetal ou basipetal, CLARKSON et al. (1968) descobriu que o fosfato absorvido pelos segmentos basais das raízes de cevada era translocado para as extremidades das raízes, tão bem quanto para as partes aéreas da planta. As folhas mais jovens não são supridas apenas com o fosfato retirado pelas raízes, mas também pelo fosfato originário das folhas mais velhas BOUMA (1967).

Geralmente os sintomas da deficiência de P aparecem com o amarelecimento nas folhas mais velhas, as quais geralmente apresentam uma coloração verde escura quando não deficientes. Os talos da maioria das plantas anuais, quando deficientes em P, caracterizam-se por apresentar uma coloração avermelhada devido ao aumento na formação de antocianinas.

O conteúdo de P das plantas deficientes neste elemento, é geralmente inferior a 0,1% ou menos, na matéria seca. Cereais adequadamente supridos com P apresentam conteúdo em P de aproximadamente 0,3 a 0,4% na matéria seca, isso durante o período de desenvolvimento vegetativo. Plantas jovens ou partes jovens de plantas têm geralmente um maior conteúdo de P. Se a quantidade de P disponível no solo estiver adequada, a aplicação deste nutriente deve ser realizada com vistas a repor as quantidades exportadas pelas culturas, sendo este elemento particularmente importante para as leguminosas por influenciar a nodulação MENGEL; KIRKBY (1982).

Em solos com disponibilidade adequada de P este elemento pode ser adicionado a cada dois anos sem haver nenhum risco de perda de produtividade, entretanto a quantidade de P a ser adicionada deve corresponder ao somatório das necessidades de cada um dos anos PRAUSSE (1968).

Na maioria dos solos minerais a mobilidade do P é muito baixa assim sendo o fertilizante fosfatado raramente é lixiviado no perfil do solo. Por esta razão não há o menor risco do Fertilizante fosfatado ser perdido por lixiviação, independente da época do ano que ele é aplicado. Entretanto para solos orgânicos tem-se observado movimento do adubo fosfatado para as camadas mais profundas MUNK (1972).

O manual de orientações técnicas para a cultura da soja no Paraná 2000/2001 (EMBRAPA, 2000) cita que: “As espécies vegetais e, dentro delas, as cultivares, diferem entre si na capacidade de absorção e utilização de nutrientes. Assim ao se preconizar determinada técnica de adubação deve-se ter, além do resultado da análise de solo, informações sobre o tipo de solo e um histórico de sua utilização e tratamentos anteriores como calagem, adubação, culturas semeadas, rendimentos obtidos, etc”.

E complementa instruindo que: “As recomendações de adubação devem ser orientadas pelos teores dos nutrientes determinados na análise de solo. Eles são interpretados em pelo menos três níveis: alto, médio e baixo”.

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros para a interpretação da análise de solo adotada pelos laboratórios do Estado do Paraná.

TABELA 1 – NÍVEIS DE ALGUNS COMPONENTES DO SOLO PARA EFEITO DA INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO.

cmol/dm ³ de solo				mg/dm ³	%	g/kg ¹	
Al ⁺⁺⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	P	Sat. Al ³⁺	C	M.O.
< 5							
< 0,5	< 0,10	< 2	< 0,4	< 3,0	5-10	8	< 15
0,5-1,5	0,11-0,20	2-4	0,4-0,8	3,1-6,0	10-20	8-14	15-25
> 1,5	0,21-0,30	> 4	> 0,8	> 6,0	20-40	> 14	> 25
> 45							

Fonte: Embrapa Soja – Londrina, 1998.

4.4 A Cultura da Soja

A soja é a cultura de grãos mais importante do mundo devido a sua utilidade tanto na alimentação humana quanto animal, de origem aparentemente chinesa foi introduzida na Europa no início do século XVIII e na América do Norte no início do século XIX, WHIGHAM (1983). Os maiores produtores mundiais são: Estados Unidos 51,3%, Brasil 20,1%, Argentina 10,4% e China 9,1%, sendo estes responsáveis por 90,9% da produção mundial, EMBRAPA (2000). As sementes de soja contêm aproximadamente 21% de óleo e 40% de proteína com base na matéria seca KAGAWA (1995). A soja pode se desenvolver em uma larga faixa de solos bem drenados, mas tem preferência por solos argilosos.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores comparativos da extração de N, P e K pela soja, em relação a trigo, milho e girassol, demonstrando que entre as culturas estudadas somente o girassol extrai mais fósforo que a soja.

A Tabela 3 mostra as quantidades de nutrientes absorvidos pela soja, relatadas por BATAGLIA; MASCARENHAS (1977). De acordo com esses autores, a extração de nutrientes pela parte aérea da planta (grãos + semente) obedece à seguinte ordem: $N > K > Mg > P > S$. Entretanto, dos macronutrientes, 84% de N, 87% de P, 56% de K, 15% de Ca, 22% de Mg e 65% de S são exportados pelos grãos, o que, com base na quantidade dos nutrientes exportados, a ordem se altera: $N > K > P > Ca > Mg = S$.

CORDEIRO et al. (1979) encontraram para N, P e K valores próximos aos encontrados por BATAGLIA; MASCARENHAS (1977). Sendo que para a exportação de nutrientes a ordem decrescente também foi a mesma.

TABELA 2 – QUANTIDADE DE N, P₂O₅ E K₂O EXTRAÍDAS POR QUATRO CULTURAS, PARA CADA 1000 KG DE GRÃOS PRODUZIDOS. EMBRAPA-CNPSO. LONDRINA, PR. 1998.

Culturas	Produção de grãos em kg	kg		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Soja	1.000	77	14	38
Girassol	1.000	52	26	51
Trigo	1.000	29	8	10
Milho	1.000	29	5	36

TABELA 3 – EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE SOJA PARA UMA PRODUÇÃO DE 1.000 KG DE GRÃOS.

Nutrientes	Extração				Exportação	
	grãos e palha		grãos		grãos	
	A ¹	B ²	A ¹	B ²	A ¹	B ²
	kg				%	
N	76,0	77,4	64,0	64,0	84,2	83,2
P	5,7	6,0	5,0	4,7	87,0	78,3
K	32,0	32,0	18,0	16,5	56,3	50,8
Ca	20,0	12,8	3,0	3,2	15,0	25,0
Mg	9,1	4,4	2,0	2,2	22,0	50,0
S	3,1	7,7		2,3	65,0	30,0
	g				%	
B	77,0		24,0		31,2	
Cl	515,0		237,0		46,0	
Cu	26,0		14,0		53,8	
Fe	460,0		115,0		25,0	
Mn	130,0		43,0		33,1	
Mo	6,0		5,0		83,3	
Zn	61,0		43,0		70,5	

FONTES: A¹ Bataglia & Mascarenhas (1977).B² Cordeiro et al. (1979).

THOMPSON (1978) estudando P e K na qualidade de semente e na produção, verificou que houve influência dos dois nutrientes, porém o K diminuiu, até próximo a zero, o aparecimento de sementes danificadas e doentes. Na produção, também foi verificado maior efeito do K, talvez porque a deficiência deste elemento era acentuada.

A Tabela 4 mostra as concentrações de nutrientes usadas para diagnose foliar, como auxílio às análises de solo para recomendações de adubação. Arbitariamente utilizou-se uma escala de cores para facilitar a segmentação dos diferentes níveis de nutrientes. Os valores considerados suficientes ou médios, nessa tabela, devem ser usados apenas como indicação complementar à análise do solo. Isto deve ser levado em conta, pois em casos de pouco desenvolvimento das plantas, pode resultar em uma concentração de nutrientes nas folhas em nível adequado, devido ao efeito de diluição dentro da planta.

TABELA 4 – CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES USADAS NA INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE FOLHAS DE SOJA DO TERÇO SUPERIOR DA PLANTA, NO INÍCIO DA FLORAÇÃO¹.

Ele - mento	Deficiente ou muito baixo	Baixo	Suficiente ou médio	Alto	Excessivo ou muito alto
----- % -----					
N	< 3,25	3,25 - 4,00	4,01 - 5,50	5,51 - 7,00	> 7,00
P	< 0,16	0,16 - 0,25	0,26 - 0,5	0,51 - 0,80	> 0,80
K	< 1,25	1,25 - 1,70	1,71 - 2,5	2,51 - 2,75	> 2,75
Ca	< 0,20	0,20 - 0,35	0,36 - 2,00	2,01 - 3,00	> 3,00
Mg	< 0,10	0,10 - 0,25	0,26 - 1,00	1,01 - 1,50	> 1,50
S	< 0,15	0,15 - 0,20	0,21 - 0,40	> 0,40	-
----- ppm -----					
B	< 15	15 - 20	21 - 100	101 - 250	> 250
Cl	< 30	30 - 50	51 - 350	351 - 500	> 500
Cu	< 10	10 - 20	21 - 55	56 - 80	> 80
Fe	< 5	5 - 9	10 - 30	31 - 50	> 50
Mn	< 11	11 - 20	21 - 50	51 - 75	> 75
Mo	< 0,5	0,5 - 0,9	1,0 - 5,0	5,1 - 10	> 10

Fonte: Peck (1979).

¹ Valores de concentrações médias utilizadas para interpretação de análises de folhas de soja, nas Universidades de Purdue, Michigan, Minnessota, Missouri, Ohio e Wisconsin.

4.5 Manejo de Plantas Daninhas

As plantas daninhas assumiram maior importância quando a seleção artificial das plantas cultivadas foi dirigida somente para características agronômicas, desconsiderando seu crescimento e desenvolvimento sob condições de infestação com plantas daninhas. Isto suprimiu a agressividade das plantas cultivadas, tornando-as mais sensíveis a presença de plantas daninhas. Por outro lado, as plantas daninhas, ao longo dos anos, vem sendo selecionadas naturalmente sob condições adversas, tornando-se mais aptas em obter elementos vitais. Atualmente as plantas daninhas apresentam 4, 5, 3 e 6 vezes maior habilidade na extração de água, nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, do que as plantas cultivadas LORENZI (1982).

As interferências das plantas daninhas nas culturas causam, no mundo, prejuízos da ordem de 30 a 40% LORENZI (1982); no Brasil, na cultura da soja, este prejuízo é calculado em 20 a 30% BLANCO et al. (1973), devido à redução no rendimento de grãos, diminuição da qualidade do produto colhido e a menor eficiência na operação de colheita.

A presença de plantas silvestres que emergem espontaneamente nos ecossistemas agrícolas pode condicionar uma série de fatores bióticos que irão atuar sobre as espécies cultivadas e afetar não só a produtividade biológica, como também a operacionalização do sistema de produção empregado PITELLI (1985).

Os efeitos negativos causados pela presença de plantas daninhas resultam da soma de pressões ambientais que estão diretamente (competição, alelopatia, interferência na colheita) ou indiretamente (hospedando pragas, doenças ou nematóides) ligadas as suas presenças no ambiente agrícola. Este efeito global se denomina de interferência PITELLI (1985) e STOLLER et al. (1987).

A competição e a alelopatia podem ser relacionados como os mecanismos de interferência mais importantes. A competição é definida como o recrutamento conjunto, por duas ou mais plantas, de recursos essenciais ao crescimento e desenvolvimento (luz, água, nutrientes, CO₂, espaço e outros), que são limitados no ecossistema comum PITELLI (1985). A alelopatia se refere a qualquer efeito causado, direta ou indiretamente, por uma planta sobre a outra, através da elaboração de

produtos químicos liberados no ambiente RICE (1974) citado por ALMEIDA; RODRIGUES (1985), este efeito no plantio direto é muito importante devido ao uso de plantas para cobertura do solo e adubação verde antecedendo as culturas de interesse comercial.

O grau de interferência das plantas daninhas nas culturas depende da comunidade vegetal infestante (espécie, densidade e distribuição), da cultura (cultivar, espaçamento e densidade), do ambiente (solo, clima e manejo) e do período de convivência (PITELLI, 1985). Por exemplo, o grau de interferência pode ser alto em áreas com alta incidência, densidade e distribuição uniforme de papua (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.) e se as medidas de controle utilizadas não forem eficientes. Isto se agrava quando o espaçamento da cultura for amplo e ocorrer má distribuição das sementes, resultando numa baixa densidade de plantas. Por outro lado, solos com boa fertilidade, bem estruturados e com boa capacidade de retenção de água, clima propício à cultura (temperatura, precipitação e insolação) e manejo adequado da cultura (época de semeadura, tratamento de sementes, controle de doenças e pragas, adubação, entre outros), privilegiam o crescimento e desenvolvimento da cultura em detrimento das plantas daninhas, resultando em menor grau de interferência.

Em levantamentos efetuados na cultura da soja no SOUZA (1993), BIANCHI (1994 e 1995), o leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.), picão preto (*Bidens pilosa* L.), papuã (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.), guanxuma (*Sida rhombifolia* L.), corriola (*Ipomoea* spp.), balãozinho (*Cardiospermum halicacabum* L.), nabiça (*Raphanus* spp.), caruru (*Amaranthus* spp.) e carrapichão (*Xanthium strumarium* L.), ocorreram em 71%, 66%, 56%, 38%, 37%, 16%, 11%, 8% e 8% das áreas avaliadas, respectivamente. Destas plantas daninhas, o picão preto, guanxuma, corriola, papuã e milhã, plantas com maior ocorrência, apresentaram maior frequência em densidades de 1 a 10 pl/m², e o leiteiro em densidades de 11 a 60 pl/m². BIANCHI, (1994 e 1995).

Vários trabalhos relatam a perda no rendimento de grãos de soja causada pela competição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas. FLECK; CANDEMIL (1995), constataram que o rendimento de grãos de soja foi reduzido de

20 a 60% na maioria dos casos avaliados, ficando em 37% a média das perdas, pela presença de gramíneas e de dicotiledôneas. No mesmo trabalho, estes autores mostram que as gramíneas apresentam maior potencial de dano do que as dicotiledôneas, pois causaram perdas médias na ordem de 42 e 21%, respectivamente.

CHEMALE; FLECK (1982), relatam que 12 e 52 pl/m² de leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.) convivendo com a soja durante 45 dias, reduziram o rendimento em 6 e 16% respectivamente, e as mesmas densidades, convivendo durante 115 dias, reduziram o rendimento em 22 e 50%.

KARAM et al. (1993), constatarem perdas no rendimento de grãos de soja de 23% pela competição com 16,7 pl/m² de carrapicho-de-carneiro (*Acanthospermum hispidum* DC.), 12% com 42,5 pl/m² de leiteiro, 3% com 49,4 pl/m² de trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.), 13% com 15,9 pl/m² de fedegoso (*Cassia tora* L.) e 5% com 8,5 pl/m² de corriola (*Ipomoea aristolochiaefolia*). KARAM et al. (1994), estimam que seria necessário mais de 11 e 27 pl/m² de picão preto e caruru para interferir no rendimento da soja, cv. BR-29, e que 8 pl/m² de corriola (*Ipomoea aristolochiaefolia*) reduzem aproximadamente 1000 kg/ha no rendimento da soja, cv. BR-16. AVILA et al. (1996), concluíram que para cada 1 pl/m² de fedegoso (*Cassia occidentalis* L.) ocorre redução de 91,7 kg/ha. GAZZIERO et al. (1996), relatam perdas de 32% para 24,2 pl/m² e 42% para 85,4 pl/m² de leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.).

A interferência causada pela presença de papuã (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.) na soja chega a reduções no rendimento de grãos de 40 a 80% para densidades entre 50 e 700 pl/m² e seu controle resultou em ganho de produtividade entre 675 a 3710 kg/ha de grãos (FLECK, 1996).

BIANCHI e FEKSA (1998), (dados não publicados) realizaram 62 experimentos a campo com densidades entre 0 a 120 pl/m², objetivando estabelecer as densidades a partir das quais se torna econômico o controle de leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.) e picão preto (*Bidens pilosa* L.) na soja. Foram realizados 35 experimentos com leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.), sendo 13 na safra 1996/97 e 22 na safra 1997/98, e 28 experimentos com picão preto (*Bidens pilosa* L.), sendo 8 na safra 1996/97 e 20 na safra 1997/98. Através das equações de regressão foram

calculadas as perdas de rendimento e de receita devido à presença destas plantas daninhas. Os resultados deste trabalho estão apresentados nas Tabelas 5 e 6. Nota-se que a redução no rendimento causada pelas diferentes densidades de leiteiro foi semelhante nos dois anos avaliados. Isto está estreitamente relacionado com a acumulação de massa seca pelo leiteiro que foi praticamente igual nestes anos (dados não apresentados). No intervalo de 1 a 20 pl/m², a cada 2 pl/m² houve uma redução média no rendimento de grãos de 12 kg/ha. Utilizando-se o controle químico (herbicidas), no qual seja gasto em média US\$ 20,00/ha, nota-se que seria economicamente viável controlar o leiteiro a partir de 8 pl/m², nas safras 1996/97 e 1997/98.

TABELA 5 – REDUÇÃO NO RENDIMENTO DE GRÃOS E NA RECEITA BRUTA DA SOJA, PELA COMPETIÇÃO COM LEITEIRO (*EUPHORBIA HETEROPHYLLA* L.) NA SAFRA 1996/97 E 1997/98.

Densidade (pl/m ²)	Redução do rendimento (kg/ha)		Redução do rendimento (kg/ha) ³	
	Safra 1996/97 ¹	Safra 1997/98 ²	Safra 1996/97	Safra 1997/98
0	0	0	0,0	0,0
2	26	25	5,2	4,7
4	51	50	10,3	9,3
6	76	73	15,2	13,8
8	100	97	20,0	18,2
10	123	119	24,7	22,5
12	146	142	29,2	26,7
14	168	163	33,7	30,7
16	190	184	38,0	34,7
18	211	205	42,2	38,5
20	231	224	46,2	42,3

¹y(g/m²) = 0,0077x² - 1,308x + 230,9 (R² = 0,87)

²y(g/m²) = 0,0072x² - 1,2664x + 297,1 (R² = 0,78)

Convênio Fundacep/Agrevo/Basf/Dupont/Zeneca

Fonte: Bianchi; Feksa (1998-Dados não publicados).

O picão preto apresentou comportamento diferenciado nos dois anos avaliados. Na safra 1996/97, o mesmo número de plantas causou maior perda no rendimento do que na safra 1997/98. Este fato é atribuído a maior acumulação de massa seca na safra 1996/97, mesmo que tenha ocorrido falta de chuvas durante o ciclo da soja, demonstrando ser uma planta daninha mais agressiva em anos com

déficit hídrico (dados não apresentados). No intervalo de 1 a 20 pl/m², a cada 2 pl/m², houve uma redução média no rendimento de grãos de 42 kg/ha na safra 1996/97 e 24 kg/ha na safra 1997/98. Utilizando-se o mesmo custo para o controle químico do leiteiro, nota-se que a partir de 4 pl/m² na safra 1996/97 e de 10 pl/m² na safra 1997/98, seria economicamente viável este método de controle.

TABELA 6 – REDUÇÃO NO RENDIMENTO DE GRÃOS E NA RECEITA BRUTA DA SOJA, PELA COMPETIÇÃO COM PICÃO PRETO (BIDENS PILOSA L) NA SAFRA 1996/97 E 1997/98.

Densidade (pl/m ²)	Redução do rendimento (kg/ha)		Redução do rendimento (kg/ha) ³	
	Safra 1996/97 ¹	Safra 1997/98 ²	Safra 1996/97	Safra 1997/98
0	0	0	0,0	0,0
2	45	24	9,0	4,5
4	89	46	17,8	8,7
6	132	68	26,3	12,8
8	173	89	34,6	16,8
10	213	109	42,7	20,5
12	252	128	50,4	24,1
14	290	146	57,9	27,4
16	326	163	65,2	30,6
18	361	179	72,2	33,6
20	395	194	79,0	36,4

¹y(g/m²) = 0,0158x² - 2,292x + 232,8 (R² = 0,81)

²y(g/m²) = 0,0121x² - 1,209x + 263,2 (R² = 0,53)

Convênio Fundacep/Agrevo/Basf/Dupont/Zeneca

Fonte: Bianchi; Feksa (1998-Dados não publicados).

Os prejuízos no rendimento de grãos de soja, causados pela interferência de diferentes espécies e densidades de plantas daninhas são relatados por vários trabalhos. São constatadas reduções de 20 a 60% no rendimento de grãos FLECK; CANDEMIL (1995). O leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.) nas densidades de 12 e 52 pl/m² reduziu em 12 e 50% o rendimento da soja CHEMALE; FLECK (1982). Com balãozinho (*Cardiospermum halicacabum* L.), existem relatos de reduções no rendimento de 26% com 10 pl/m² SOUZA (1995). Segundo FLECK (1996) o papuã (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.) em densidades de 50 a 700 pl/m² causa reduções de 40 a 80% no rendimento de grãos.

Atualmente, pesquisas visando estimar os prejuízos causados pela competição FLECK (1996) e os níveis de dano econômico (NDE) MARRA; CARLSON (1983) e BOSNIC; SWANTON (1997), vem sendo realizadas e são de grande importância para auxiliar na decisão quanto ao controle de plantas daninhas.

BIANCHI; FEKSA (2000) após avaliar os danos causados por plantas daninhas na cultura da soja nas safras de 1996/97 e 1997/98 concluirão que: Os NDEs obtidos para as espécies avaliadas foram os seguintes: leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.) de 7,2 a 7,7 pl/m²; picão preto (*Bidens pilosa* L.) de 6,1 a 10 pl/m²; papuã (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.) 10,3 pl/m²; SIDRH 26,1 pl/m² e balãozinho (*Cardiospermum halicacabum* L.) 1,2 pl/m². E que as perdas no rendimento de grãos de soja causada pelo acréscimo de uma planta daninha por m² foram as seguintes: leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.) de 1,4 a 1,5 g/m²; picão preto (*Bidens pilosa* L.) de 1,1 a 1,7 g/m²; papuã (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.) de 1,03 g/m²; guanxuma (*Sida rhombifolia* L.) de 0,41 g/m² e balãozinho (*Cardiospermum halicacabum* L.) de 8,5 g/m².

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo Localização e Caracterização

A área de estudo está localizada fisiograficamente no Primeiro Planalto paranaense, município de Pinhais-PR, Região Metropolitana de Curitiba (Figura 4).

A Figura 5 mostra o mapa esquemático do Centro Experimental do Canguiri, pertencente à Universidade Federal do Paraná, com área total de 450 ha e coordenadas geográficas 25° 24' de latitude sul e 49° 07' 15" de longitude oeste (UFPR, 1966), com destaque para o talhão Bovino 7 localizado próxima à antiga leiteria, onde o experimento foi conduzido. O solo da área de estudo é, conforme classificação de LARACH et al. (1994), um latossolo vermelho amarelo álico, com horizonte A proeminente, textura argilosa, fase campo subtropical e relevo suave ondulado. Um melhor detalhamento da aérea experimental e do Centro Experimental do Canguiri pode ser observado na fotografia aérea, Figura 6.

FIGURA 4 – ESTADO DO PARANÁ, COM DESTAQUE PARA A REGIÃO DE PINHAIS-PR.

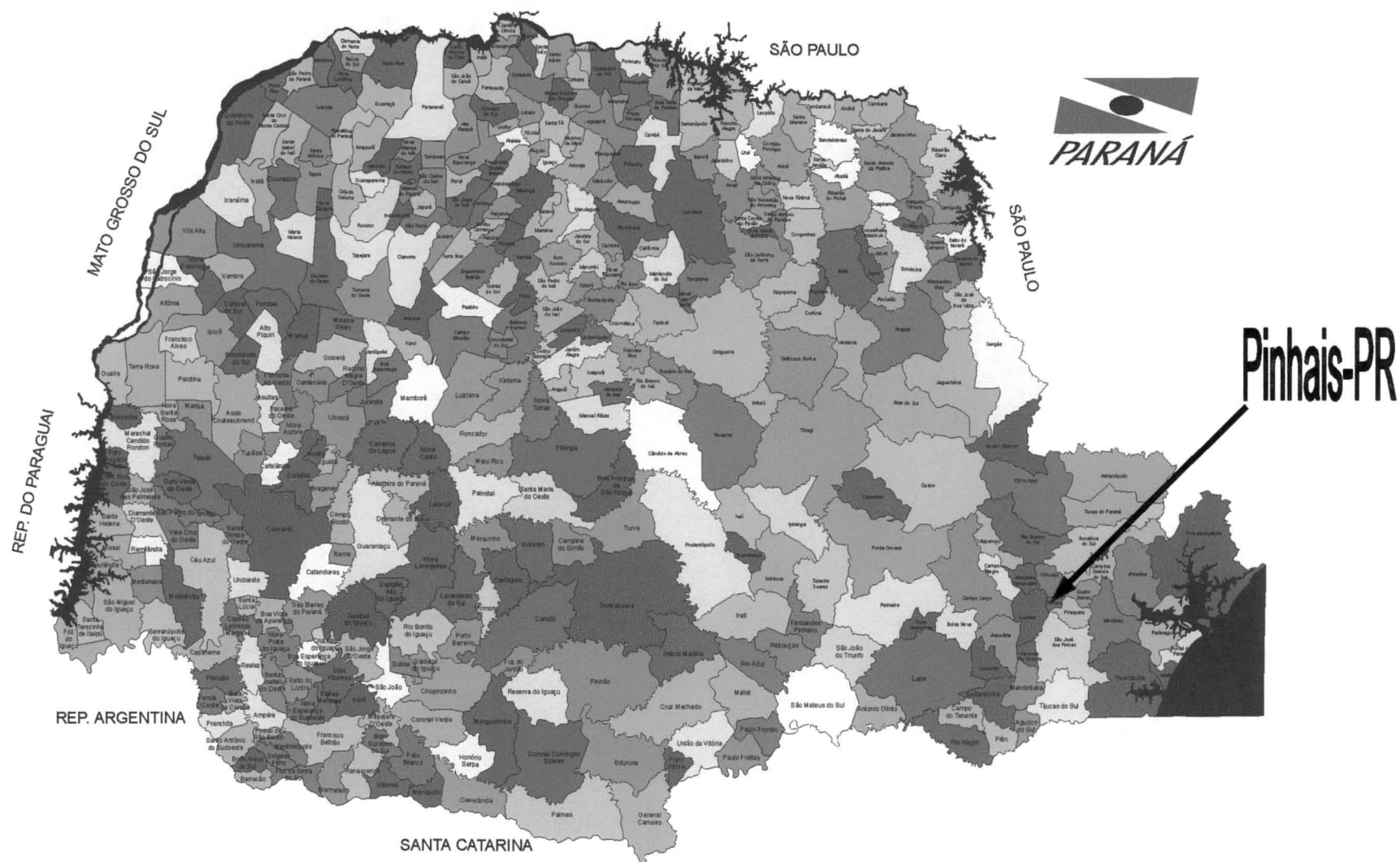


FIGURA 5 – CENTRO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI PINHAIS-PR, COM DESTAQUE PARA A ÁREA EXPERIMENTAL.

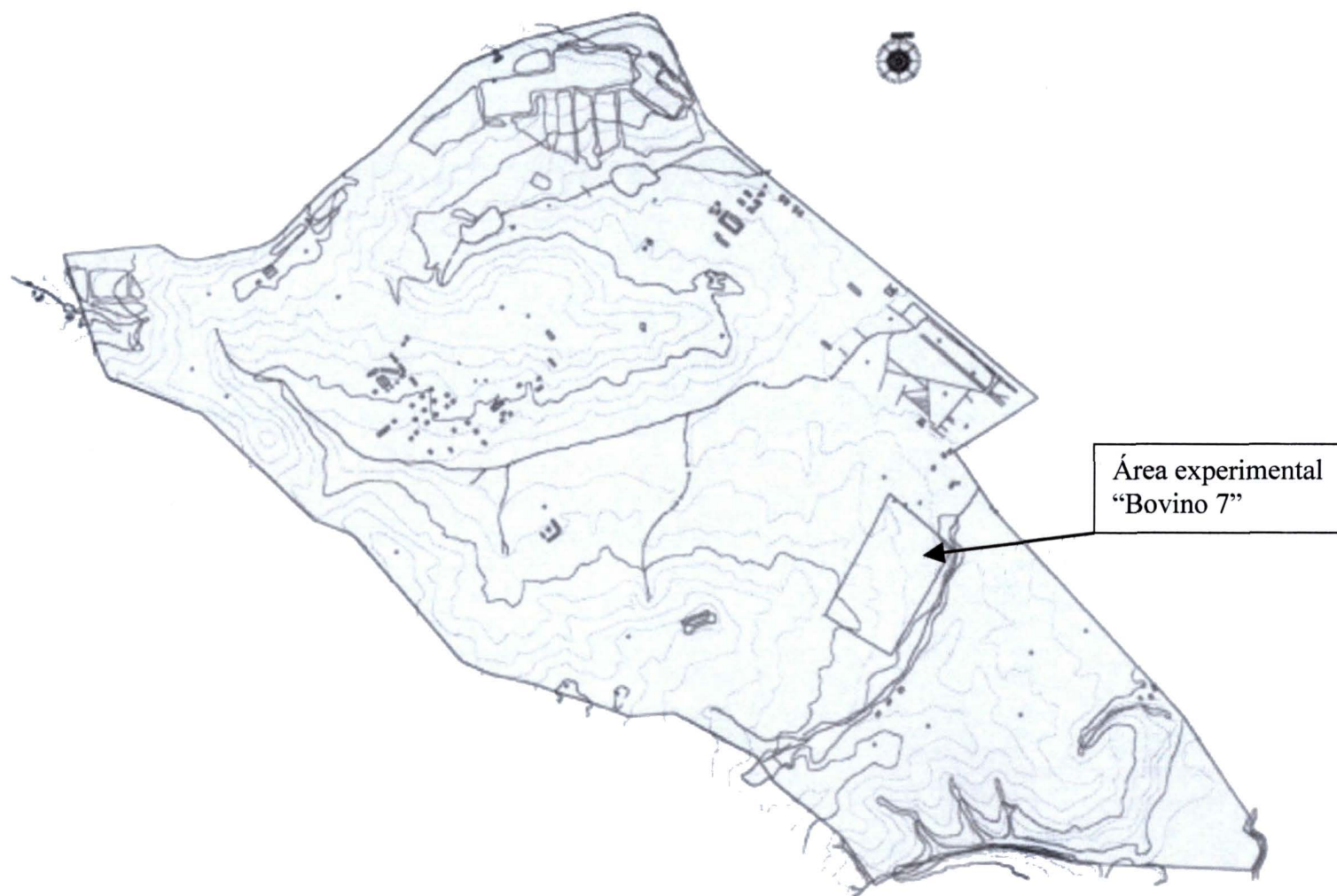
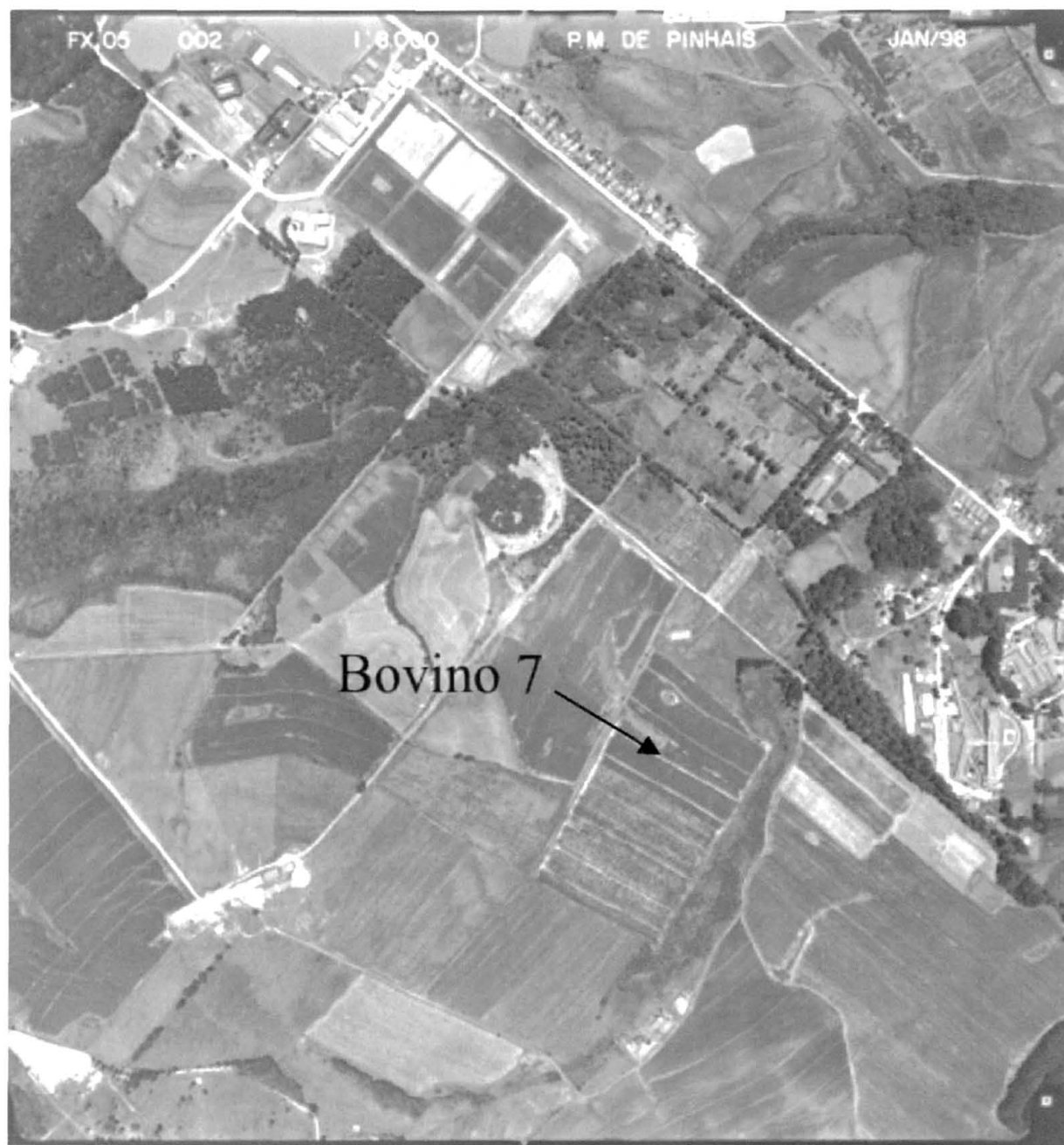


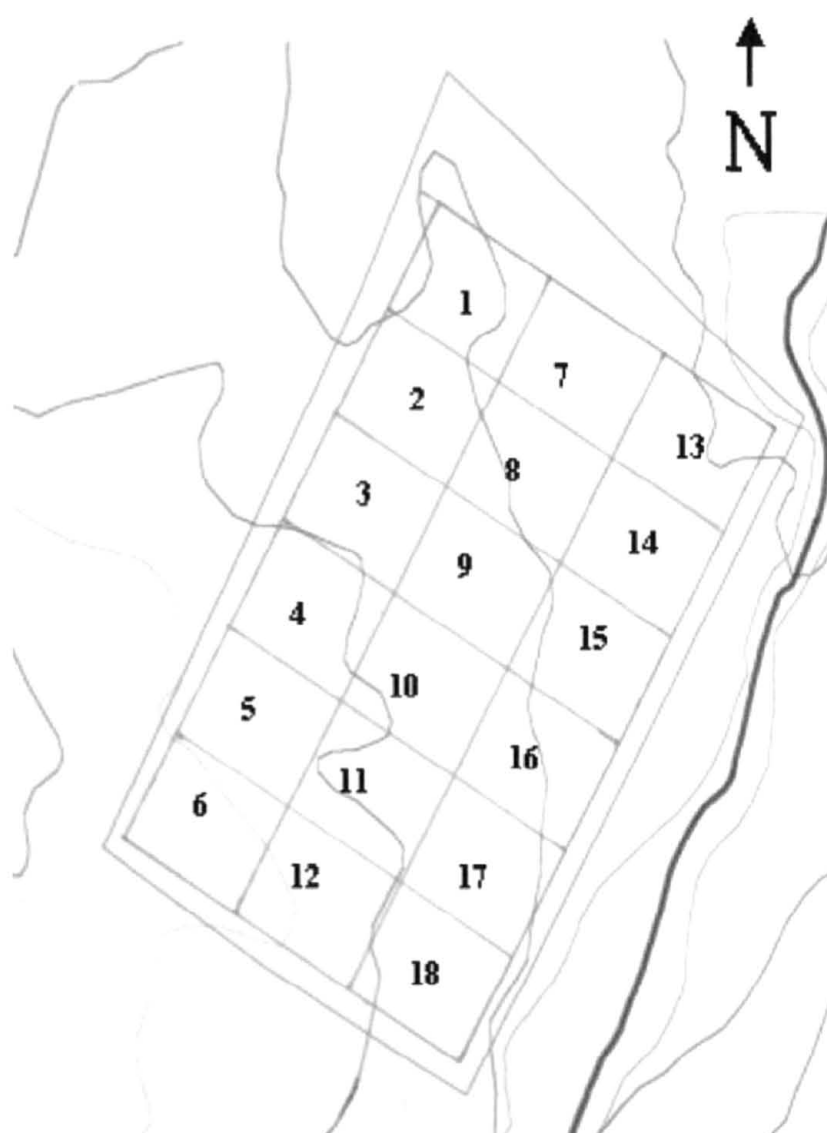
FIGURA 6- FOTOGRAFIA AÉREA DO CENTRO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, COM DESTAQUE PARA A ÁREA EXPERIMENTAL.



5.2 Metodologia Utilizada

Em abril de 1999, utilizando-se de teodolito, trena e balizas, dividiu-se a área do talhão bovino 7 em 18 parcelas de 70,71m x 70,71m ou seja de 0,5 ha conforme mostra a Figura 7, as quais foram demarcadas no centro e nos vértices com estacas de madeira para se ter um referencial físico da divisão das parcelas.

FIGURA 7 – ÁREA EXPERIMENTAL E DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS



Após a demarcação da área experimental, em maio de 1999, tomou-se, de cada uma das 18 parcelas, amostras de solo, compostas por 20 sub-amostras, nas profundidades de 0-5; 5-10; 0-15; 15-35; 35-55 cm, tomadas na entre linha da cultura anterior, no caso milho. Para tanto, utilizou-se de trado tipo holandês com lâmina de corte de 15 cm, canivete para retirar com maior facilidade a terra do trado e baldes plásticos. As amostras foram homogeneizadas manualmente, colocadas em sacos plásticos previamente identificados, e encaminhadas ao laboratório de fertilidade do solo da UFPR. No laboratório as amostras foram acondicionadas em cubas de alumínio, também identificadas, colocadas em prateleiras onde secaram ao ar. Após secas as amostras foram destorroadas, peneiradas e submetidas a análise química de rotina para os seguintes fatores: pH em CaCl_2 ; Ca, Mg e Al trocáveis em KCl 1 N, P e K extraíveis em Mehlich 1 (H_2SO_4 0,125 M + HCl 0,05 M), e C pelo método colorimétrico conforme PAVAN et al. (1992).

Em novembro de 1999 o talhão foi dessecado com herbicida glifosato WG na dosagem de 1 kg/ha e plantado comercialmente com soja, variedade FT-2000 com espaçamento de 50 cm entre linhas e densidade de semeadura de 16 sementes/m linear.

A adubação de manutenção foi recomendada com base nos resultados obtidos para a profundidade de 0-15 cm tomada por ocasião da amostragem citada anteriormente (maio/1999). Com base em seus resultados, e considerando-se os teores médios de P ($9,25 \text{ mg/dm}^3$), e de K ($0,29 \text{ cmol/dm}^3$) para aquela profundidade, seguiu-se as recomendações de adubação para a soja no Paraná, tabela 7 (EMBRAPA, 1998), e portanto aplicou-se por ocasião do plantio, em linha, 250 kg/ha de 0-20-20. Ao se proceder tal adubação, assumiu-se haver variação na disponibilidade de nutrientes entre as parcelas, esperando-se assim que tal disponibilidade, particularmente a do P, influenciasse significativa e evidente a produtividade de cada uma das parcelas, e assim permitisse a construção de curvas de calibração.

TABELA 7 – RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO PARA A SOJA NO ESTADO DO PARANÁ.

FONTE: EMBRAPA (1998)

Análise do solo		Quantidade a aplicar		
mg.dm ³		kg/ha		
P ¹ (mg/dm ³)	K ¹ (cmol/dm ³)	N ²	P ₂ O ₅	K ₂ O ³
> 3,0	< 0,10	0	90 - 100	90
	0,11 a 0,20	0	90 - 100	70
	0,21 a 0,30	0	90 - 100	50
	> 0,30	0	90 - 100	40
3,1 a 6,0	< 0,10	0	70 - 80	90
	0,11 a 0,20	0	70 - 80	70
	0,21 a 0,30	0	70 - 80	50
	> 0,30	0	70 - 80	40
> 6,0	< 0,10	0	50 - 60	90
	0,11 a 0,20	0	50 - 60	70
	0,21 a 0,30	0	50 - 60	50
	> 0,30	0	50 - 60	40

¹ Extrator de P e K : Mehlich I

Durante todo o ciclo da cultura, foram realizadas vistorias de rotina para acompanhamento agrônomo da lavoura como um todo, sendo as operações de aplicação de defensivos também realizadas em área total, levando-se em conta as recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná (EMBRAPA, 2000). Para tanto, foi aplicado o inseticida: monocrotofós e os seguintes herbicidas pós-emergentes: lactofen, chlorimuron e clethodim.

Foram realizadas avaliações da cultura para os seguintes parâmetros fitotécnicos, selecionados por terem grande influência na expressão do máximo potencial produtivo da soja: estande, mato-competição, e ocorrência de pragas e doenças. Tais avaliações se deram em 15/março/1999 na pré-floração (estádio Vn) e em 10/maio/1999 na maturidade fisiológica dos grãos (estádio R7).

No início do florescimento (estádio Vn) foram também coletadas amostras de folhas, no terço superior das plantas conforme PECK (1979). Estas amostras foram enviadas ao Laboratório de Nutrição de Plantas da UFPR, onde foram secadas em estufa e submetidas a análise química para N, P, K, Ca, Mg e Al.

A colheita foi realizada separadamente para cada uma das 18 parcelas, utilizando-se para tanto de uma automotriz colhedora de grãos e carreta previamente tarada e protegida por lona plástica. Após a colheita, e pesagem, computou-se como produção útil da parcela a massa convertida em produto comercial, convertendo-se também a umidade para 14%.

Os resultados obtidos foram tabulados em planilha eletrônica Microsoft Excel.

Com base nos teores extraíveis de P atribuiu-se às parcelas experimentais classes de fertilidade conforme níveis sugeridos por EMBRAPA (1998) conforme Tabela 8.

TABELA 8 – NÍVEIS INTERPRETATIVOS DE TEORES DO SOLO NO PARANÁ. FONTE: EMBRAPA (1998).

NÍVEIS	Al ⁺⁺⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	P	C
	----- cmol _c /dm ³ de solo -----				mg/dm ³	g/kg
Baixo	< 0,5	< 0,10	< 2	< 0,4	< 3,0	8
Médio	0,5-1,5	0,11-0,20	2-4	0,4-0,8	3,1-6,0	8-14
Alto	> 1,5	0,21-0,3	> 4	> 0,8	> 6	> 14
Muito alto		> 0,30				

Os teores do solo, os teores folheares, a produtividade, o estande, a matocompetição, ocorrência de pragas e doenças. Foram submetidos à análise de regressão linear.

Em razão de os parâmetros agronômicos (estande, matocompetição, ocorrência de pragas e doenças) terem sido categorizados por meio de notas embasadas em escala visualmente avaliação visual e categorizados, efetuou-se também análise utilizando-se árvore de regressão. Foi também utilizada esta análise pelo fato dos dados serem categorias.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados das análises de solo para pH em CaCl_2 , P e K extraíveis, Al, Ca e Mg trocáveis das diferentes profundidades amostradas (0-5, 5-10, 15-35 e 35-55 cm) das parcelas experimentais. Observando-se os resultados dentro de cada parcela, pode-se notar uma nítida variação vertical, ou seja entre as diferentes profundidades. Ainda que não submetidas à análise de variância, nota-se também haver variação entre os resultados obtidos para diferentes parcelas, particularmente para o P, K, Al, Ca, e Mg, havendo menor variação no pH.

A variação observada nas parcelas de um mesmo talhão para os fatores avaliados, tal qual a assertiva de SCHUELLER (1992) e WEIDA; BORGELT (1993), indica que, em não havendo homogeneidade entre as parcelas não se deve aplicar o mesmo tratamento a elas sob pena de se desequilibrar ainda mais o sistema. Ou seja, ao se aplicar por exemplo uma mesma dose de corretivo, ou de fertilizante fosfatado ou potássico, de maneira uniforme, em um mesmo talhão que apresente variação nos parâmetros utilizados para proporcionar a recomendação adotada, ao se considerá-lo uniforme e se efetuar as referidas aplicações sem se levar em conta as variações horizontais existentes no talhão estar-se-á tornando tais diferenças ainda mais evidentes.

TABELA 9 – RESULTADOS ANALÍTICOS PARA O SOLO EM AMOSTRAS TOMADAS ÀS PROFUNDIDADES DE 0-5, 5-10, 15-35, 35-55 E DE 0-15 CM.

CONTINUA

PARCELA Nº	PROF. cm	pH CaCl ₂	P (mg/dm ³)	K	Al (cmol/dm ³)	Ca	Mg	C g/dm ³
1	0 a 5	4,50	10,0	0,55	0,80	5,20	4,20	-
	5 a 10	4,40	8,0	0,23	1,80	5,00	4,00	-
	15 a 35	4,30	1,0	0,12	2,30	4,30	4,00	-
	35 a 55	4,20	1,0	0,06	3,00	4,00	3,20	-
2	0 a 5	4,60	13,0	0,65	1,10	6,00	3,30	-
	5 a 10	4,50	12,0	0,34	2,00	5,60	2,60	-
	15 a 35	4,40	2,0	0,20	2,60	4,40	1,70	-
	35 a 55	4,20	2,0	0,12	3,00	3,80	1,20	-
3	0 a 5	4,30	10,0	0,25	1,00	4,40	2,50	-
	5 a 10	4,40	11,0	0,16	0,90	3,50	2,30	-
	15 a 35	4,40	3,0	0,12	1,40	2,50	1,80	-
	35 a 55	4,20	1,0	0,09	1,90	1,50	1,20	-
4	0 a 5	4,80	7,0	0,14	0,00	7,00	4,50	-
	5 a 10	4,60	7,0	0,10	0,20	6,30	3,90	-
	15 a 35	4,60	1,0	0,07	0,80	3,00	2,00	-
	35 a 55	4,40	1,0	0,05	1,40	1,50	0,90	-
5	0 a 5	-	-	-	-	-	-	-
	5 a 10	-	-	-	-	-	-	-
	15 a 35	-	-	-	-	-	-	-
	35 a 55	-	-	-	-	-	-	-
6	0 a 5	-	-	-	-	-	-	-
	5 a 10	-	-	-	-	-	-	-
	15 a 35	-	-	-	-	-	-	-
	35 a 55	-	-	-	-	-	-	-
7	0 a 5	4,50	6,0	0,80	1,30	6,00	3,10	-
	5 a 10	4,50	6,0	0,38	2,20	5,00	3,90	-
	15 a 35	4,10	1,0	0,22	2,70	3,00	3,50	-
	35 a 55	4,40	1,0	0,17	3,20	2,00	2,30	-
8	0 a 5	4,50	7,0	0,74	1,00	5,00	2,20	-
	5 a 10	4,30	6,0	0,41	2,00	4,00	2,30	-
	15 a 35	4,60	2,0	0,26	2,50	2,00	2,40	-
	35 a 55	4,20	1,0	0,14	3,00	1,00	1,30	-

TABELA 9 – RESULTADOS ANALÍTICOS PARA O SOLO EM AMOSTRAS TOMADAS ÀS PROFUNDIDADES DE 0-5, 5-10, 15-35, 35-55 E DE 0-15 CM.

CONTINUA

PARCELA Nº	PROF. cm	pH CaCl ₂	P (mg/dm ³)	K	Al (cmol/dm ³)	Ca	Mg	C g/dm ³
9	0 a 5	4,90	5,0	0,50	0,50	8,00	4,10	-
	5 a 10	4,70	8,0	0,22	1,00	7,00	4,20	-
	15 a 35	4,30	2,0	0,21	2,20	2,20	3,20	-
	35 a 55	4,20	1,0	0,17	2,80	1,30	1,70	-
10	0 a 5	4,50	11,0	0,45	0,30	7,00	4,00	-
	5 a 10	4,60	13,0	0,19	1,00	6,00	4,50	-
	15 a 35	4,40	1,0	0,11	1,80	2,50	2,00	-
	35 a 55	4,10	1,0	0,08	2,00	0,70	1,80	-
11	0 a 5	4,40	9,0	0,49	1,00	5,00	3,10	-
	5 a 10	4,40	8,0	0,22	1,60	4,80	2,80	-
	15 a 35	4,50	2,0	0,24	1,90	2,50	1,50	-
	35 a 55	4,40	1,0	0,13	2,10	2,00	1,60	-
12	0 a 5	4,30	11,0	0,46	0,50	5,00	1,90	-
	5 a 10	4,40	11,0	0,31	0,80	4,00	2,70	-
	15 a 35	4,10	1,0	0,09	1,20	3,00	1,30	-
	35 a 55	4,30	1,0	0,08	2,00	2,00	2,00	-
13	0 a 5	4,60	7,0	0,43	1,50	5,50	2,50	-
	5 a 10	4,40	8,0	0,22	2,00	5,20	2,30	-
	15 a 35	4,30	1,0	0,12	4,10	4,00	2,30	-
	35 a 55	4,20	1,0	0,10	3,60	0,50	1,50	-
14	0 a 5	4,20	18,0	0,43	1,40	5,20	3,30	-
	5 a 10	4,30	9,0	0,22	2,50	5,00	3,30	-
	15 a 35	4,20	3,0	0,15	3,00	1,70	1,50	-
	35 a 55	4,20	1,0	0,11	3,50	0,90	1,10	-
15	0 a 5	4,50	8,0	0,22	1,00	8,50	4,50	-
	5 a 10	4,60	14,0	0,30	0,70	8,20	3,80	-
	15 a 35	4,50	1,0	0,13	2,90	5,60	2,90	-
	35 a 55	4,10	1,0	0,10	3,00	4,50	3,50	-
16	0 a 5	4,60	13,0	0,59	1,30	5,70	5,30	-
	5 a 10	4,30	8,0	0,23	1,00	5,50	5,00	-
	15 a 35	4,30	2,0	0,13	3,40	1,30	3,00	-
	35 a 55	4,40	1,0	0,07	3,90	1,00	2,20	-

TABELA 9 – RESULTADOS ANALÍTICOS PARA O SOLO EM AMOSTRAS TOMADAS ÀS PROFUNDIDADES DE 0-5, 5-10, 15-35, 35-55 E DE 0-15 CM.

PARCELA Nº	PROF. cm	pH CaCl ₂	P (mg/dm ³)	K	Al (cmol _d /dm ³)	Ca	Mg	CONCLUSÃO	
								C	
17	0 a 5	4,70	11,0	0,45	1,10	3,00	6,20	-	
	5 a 10	4,20	14,0	0,20	2,00	2,50	4,90	-	
	15 a 35	4,70	2,0	0,16	2,70	1,50	2,80	-	
	35 a 55	4,60	2,0	0,10	3,00	1,00	2,00	-	
18	0 a 5	4,60	11,0	0,42	1,00	5,20	3,80	-	
	5 a 10	4,50	13,0	0,26	1,00	5,00	2,80	-	
	15 a 35	4,40	4,0	0,25	1,60	4,40	2,50	-	
	35 a 55	4,30	2,0	0,17	1,80	4,10	2,10	-	

Teores de P no solo

Neste trabalho, evidenciou-se mais o nutriente P, em razão deste ter sido utilizado como objeto de estudo para se testar a possibilidade de se construir curvas de calibração a partir da quadriculação de um talhão (Bovino 7) relacionando-se os teores de P extraíveis do solo com a resposta da cultura em termos de produtividade e teores foliares. Para tanto, decidiu-se testar tais relações apenas para os teores gerados para a camada de 0-15 cm de profundidade. No entanto, das 18 parcelas experimentais duas foram perdidas (parcelas 5 e 6).

Os valores obtidos para esta profundidade estão todos arrolados na Tabela 10 cuja média foi de 9,25 mg/dm³ e desvio padrão de 3,07, sendo o teor mais baixo 5 mg/dm³, e o mais elevado 14 mg/dm³ o que corresponde a uma variação de 280% no teor de P entre parcelas experimentais, que por sua vez redundaria em doses de P₂O₅, conforme EMBRAPA (1998) que variariam de 50 a 80 kg/ha. (Tabela 7).

No caso de se considerar o valor médio de 9,25 mg/dm³ obtido para a profundidade de 0-15 cm (Tabela 10) como representativo da disponibilidade de P para o talhão como um todo (Bovino 7), e ao se considerar para sua interpretação os níveis fornecidos por EMBRAPA (1998) na Tabela 8 para o fósforo, classificar-se-ia os níveis de P daquele talhão como “altos”. Ou seja, com base nesta interpretação e

nos teores observados no solo, se teria alcançado acima de 90% do rendimento relativo da cultura de soja implantada em todas as parcelas experimentais amostradas, as quais teriam sido adubadas apenas com a dose de manutenção de fertilizante fosfatado. Conforme a Tabela 7 estar-se-ia portanto recomendando aplicar ao solo entre 50-60 kg/ha. de P_2O_5 . Ou seja, estar-se-ia superestimando o teor de P existente no solo de algumas das parcelas do talhão em questão e se propondo uma adubação possivelmente, conforme EMBRAPA (1998) inferior à sua real necessidade.

Entretanto, o teor mais baixo do referido talhão foi o de 5,0 mg/dm³ encontrado para as parcelas 7, 8 e 13 as quais, ao lado da parcela 4 (6,0 mg/dm³ de P) apresentaram teores classificados, segundo EMBRAPA (1998) (Tabela 8) como “médios”. Com base nesta interpretação, ter-se-ia alcançado produtividade relativa na faixa compreendida entre 70-90% da produtividade relativa máxima, o que redundaria em uma recomendação de P_2O_5 de 70-80 kg/ha. Por outro lado, as demais parcelas experimentais apresentaram-se com teores de P superiores a 6,0 mg/dm³ (parcelas 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 e 18), considerados por EMBRAPA (1998) como níveis interpretativos “altos” para o P extraível por Mehlich 1, o que exigiria, conforme recomendação proposta na Tabela 7, apenas doses de manutenção, ou seja 50-60 kg/ha de P_2O_5 .

Tomando-se como exemplo o caso do P, deduz-se pois das observações acima que, para um certo talhão que possua uma variabilidade na fertilidade de seu solo conforme o apresentado na Tabela 10, ao se propor uma adubação baseada nos teores médios de nutrientes extraíveis, estar-se-ia desconsiderando a variabilidade espacial do talhão, e como consequência possivelmente não se atendendo de fato a real necessidade de adubação para a área, seja para mais, seja para menos. A consequência prática disso seria um possível aumento em gastos com fertilizantes, impactos ambientais advindos de doses acima do necessário, e a obtenção de produtividades inferiores às projetadas. O que vem ao encontro do trabalho publicado por THOM (1985) que, trabalhando com soja, concluiu que para se obter o máximo potencial produtivo, os valores dos nutrientes disponíveis indicados nas tabelas de interpretação de análises de solo muitas vezes são superiores aos realmente necessários para a cultura.

TABELA 10 – ANÁLISE DE SOLO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS 0-15 CM.

PARCELA Nº	PROF. cm.	pH CaCl ₂	P (mg/dm ³)	K	Al (cmolc/dm ³)	Ca	Mg	C g/dm ³
1	0-15	4,40	7,0	0,25	1,30	4,90	3,80	30,6
2	0-15	4,50	11,0	0,35	1,70	5,00	2,80	31,1
3	0-15	4,50	8,0	0,16	0,80	4,20	2,50	27,8
4	0-15	4,80	6,0	0,11	0,00	6,00	3,70	26,3
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0-15	4,50	5,0	0,48	1,80	4,00	3,00	36,1
8	0-15	4,40	5,0	0,44	1,50	3,00	2,20	34,7
9	0-15	4,40	10,0	0,34	0,40	7,00	4,00	35,7
10	0-15	4,40	13,0	0,27	0,30	5,00	5,00	26,8
11	0-15	4,30	8,0	0,27	1,40	4,50	2,50	30,7
12	0-15	4,30	11,0	0,41	0,90	4,00	2,60	26,8
13	0-15	4,40	5,0	0,33	1,70	5,00	2,30	37,1
14	0-15	4,40	11,0	0,31	1,20	4,90	2,90	35,7
15	0-15	4,40	9,0	0,20	1,10	6,60	3,90	37,6
16	0-15	4,30	14,0	0,18	1,30	5,20	4,80	36,1
17	0-15	4,70	13,0	0,28	1,30	2,00	4,00	35,7
18	0-15	4,50	12,0	0,32	1,50	4,70	2,80	34,2
MÉDIA		4,45	9,25	0,29	1,14	4,75	3,30	32,7
DESVIO		0,14	3,07	0,10	0,53	1,23	0,88	4,0

Ao se classificar os dados da Tabela 10 em 4 categorias de P extraível por Mehlich-1, arbitrariamente estabelecidas para a profundidade de 0-15 cm (<3,0; 3,1–6,0; 6,1–12,0; e >12,0 mg/dm³), ao invés daquelas propostas por EMBRAPA (1998) (Tabela 8), e representando-se as parcelas graficamente com suas respectivas classes de fertilidade assim estabelecidas tem-se a Figura 9. Esta, ao ser sobreposta à Figura 8, não dá indicação de haver tendência de relação muito clara entre a topografia do terreno e a distribuição do P. De tal observação empírica deduz-se que provavelmente a variabilidade espacial observada para o teor de P nas camadas mais superficiais do solo, em particular da de 0-15 cm, é devida às sucessivas práticas agrônômicas às quais a área foi submetida, uma vez que os solos da região apresentam naturalmente

teores de P em torno de 1 mg/dm^3 (LARACH, 1984). Utilizando-se deste critério arbitrário observa-se que quatro das parcelas apresentaram teores de P entre 3,1 e 6,0 mg/dm^3 (parcelas 4, 7, 8 e 13), nove apresentaram teores de P entre 6,0 e 12,0 mg/dm^3 (1, 2, 3, 9, 11, 12, 14, 15 e 18) e três apresentaram teores de P $> 12,0 \text{ mg/dm}^3$ (10, 16 e 17) (vide Figura 9).

FIGURA 8 – FÓSFORO NO SOLO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS 0-15 CM.

1	7	13
2	8	14
3	9	15
4	10	16
5	11	17
6	12	18

BAIXO	< 3,0
MÉDIO	3,1- 6,0
ALTO	6,1-12,0
M. ALTO	> 12,0
PARCELA PERDIDA	

Parâmetros fitotécnicos: Estande, matocompetição e incidência de pragas e doenças

Diferentes autores concordam que a produtividade de uma lavoura está relacionada não apenas aos fatores de solo, mas também a várias outras características como, por exemplo, genótipo REDDY & DUNN (1987), fornecimento de água KANEMASU et al. (1977) e MUSICK et al. (1976). WHINGHAN (1983) enfatiza que os componentes da produtividade da soja são dependentes do número de plantas por unidade de área, número vagens por planta, número sementes por vagem e peso das sementes e que todos esses fatores são influenciados pelas condições ambientais, práticas de manejo e da cultivar plantada.

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros fitotécnicos avaliados para as parcelas experimentais os quais foram avaliados em duas épocas distintas do desenvolvimento vegetativo, conforme citado na metodologia (Época inicial: em 15/Março/2000; Época final: em 10/Maio/2000). Nota-se que somente o grau de infestação de ataque de pragas na época inicial ocorreu de maneira uniforme em todo o talhão avaliado tendo todas parcelas apresentado grau 2 (nível médio) de infestação. Todos os demais parâmetros fitotécnicos avaliados apresentaram variações entre as parcelas. A Tabela 11 demonstra que várias das parcelas não apresentaram condições ideais para a expressão do máximo potencial produtivo com relação aos parâmetros agronômicos avaliados, sendo que para alguns deles a maioria das parcelas não condições ideais ao desenvolvimento da cultura, o que tenderia a se refletir negativamente na produtividade.

TABELA 11 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FITOTÉCNICOS DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

PARCELA	Estande *	Estande **	Mato *	Mato **	Doenças *	Doenças **	Pragas *	Pragas **
1	2	2	3	3	2	3	2	2
2	1	1	2	2	2	3	2	3
3	1	1	2	2	2	3	2	3
4	1	1	3	3	1	2	2	3
5	1	1	1	1	1	2	2	3
6	3	3	3	3	1	2	2	3
7	2	2	2	2	2	3	2	2
8	2	2	2	2	2	3	2	3
9	1	1	1	1	1	2	2	3
10	1	1	1	1	1	2	2	3
11	1	1	1	1	1	2	2	3
12	2	2	3	3	2	3	2	3
13	2	2	3	3	2	3	2	3
14	1	1	1	1	1	2	2	3
15	1	1	1	1	1	2	2	3
16	1	1	1	1	1	2	2	3
17	1	1	3	3	1	2	2	3
18	2	2	3	3	2	3	2	3
SOMA	26	26	36	36	26	44	36	52
MÉDIA	1,44	1,44	2	2	1,44	2,44	2	2,89
DESVIO	0,62	0,62	0,91	0,91	0,51	0,51	0	0,32

Os níveis de Estande de plantas foram definidos como: 3 ALTO 2 BAIXO 1 IDEAL

Os níveis de Plantas daninhas foram definidos como: 3 ALTO 2 MÉDIO 1 BAIXO

Os níveis de Doenças e Pragas foram definidos como: 3 ALTO 2 MÉDIO 1 BAIXO

* Avaliações 15 de Março de 2000

** Avaliações 15 de Maio de 2000

A praga predominante na 1ª avaliação foi Lagarta e na 2ª percevejo.

Teores folheares da soja

A Tabela 12 apresenta os resultados da análise foliar das parcelas experimentais sendo que as parcelas 1, 7 e 13 foram perdidas. Nota-se desta tabela que os níveis foliares para N, P, K Ca e Mg apresentaram-se, conforme os níveis interpretativos propostos por EMBRAPA (1998) (TABELA 4), como respectivamente deficientes, suficientes, baixos, suficientes e baixos de forma uniforme em todas as parcelas experimentais, à exceção das parcelas 3, 4, 8 e 14 que para o teor folhear de P apresentaram-se com níveis baixos.

Tabela 12 – TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE SOJA DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

PARCELA	N	P	K	Ca	Mg	Al
	(g/kg)					(mg/kg)
1	-	-	-	-	-	-
2	13,93	2,56	16,70	11,90	2,30	150
3	18,08	2,51	16,05	10,20	1,10	170
4	15,73	2,48	14,05	13,60	2,60	150
5	18,58	2,65	12,70	10,10	1,60	140
6	17,37	3,12	13,90	12,30	2,50	180
7	-	-	-	-	-	-
8	17,05	2,31	16,25	10,30	1,30	160
9	18,85	2,67	15,00	12,40	1,60	150
10	18,90	2,79	14,95	12,80	1,50	160
11	18,90	3,01	13,45	15,10	1,70	90
12	16,72	3,03	13,60	11,50	2,00	100
13	-	-	-	-	-	-
14	18,03	2,45	13,35	12,30	2,00	120
15	18,03	2,56	12,95	13,00	2,20	90
16	18,14	2,79	12,30	13,60	1,80	100
17	17,65	2,79	12,25	14,50	2,20	100
18	18,68	2,92	13,10	12,60	1,90	100
MÉDIA	17,64	2,71	14,04	12,41	1,89	130,67
DESVIO	1,36	0,24	1,44	1,48	0,43	31,73

Produtividade da soja

Na Tabela 13 estão as produtividades obtidas para as 18 parcelas experimentais que variaram de 1.859 kg/ha, na parcela 6, até 3.509 kg/ha na parcela 11. A diferença entre tais produtividades é de 1.650 kg/ha ou 27,5 sacos de 60 kg/ha. A título de exercício, levando-se em consideração um preço médio de US\$ 10,00/sc de soja, caso se conseguisse manejar o talhão de 9 ha, objeto de estudo (Bovino 7), sob os preceitos da “agricultura de precisão” de forma que a este se permitisse expressar em todas as suas parcelas o mesmo potencial produtivo obtido na parcela 11 (3.509 kg/ha), obter-se-ia como renda bruta para todo o talhão o valor de US\$ 5.263,50 contra US\$ 4.019,16, o que geraria uma diferença de US\$ 1.244,34. No caso, considerando-se tal diferença de produtividade para apenas 1 ha, ter-se-ia na renda bruta deste hectare uma diferença de US\$ 275,00, que por sua vez seria suficiente para custear a análise de 33 amostras de solo, a um preço aproximado de US\$ 8,00 cada, o que viabilizaria a diagnose da fertilidade do solo sob a ótica aqui apresentada.

Desta forma há de se estudar melhor as recomendações de insumos, principalmente no que concerne à calibração e correlação de modo a tornar as recomendações mais confiáveis técnica e economicamente. A Tabela 14 apresenta sinteticamente os resultados analíticos e das observações de campo das parcelas experimentais com a finalidade de dar ao leitor uma visão geral das variações observadas em cada uma das parcelas. Estes resultados bem como as suas interpretações foram discutidos anteriormente.

TABELA 13 – PRODUTIVIDADE EM KG/HA DA SOJA NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS.

P A R C E L A	K g / h a
1	2.115
2	2.354
3	2.587
4	2.292
5	2.799
6	1.859
7	2.487
8	2.657
9	2.793
10	3.324
11	3.509
12	2.159
13	2.619
14	3.275
15	3.453
16	3.475
17	2.052
18	2.421
SOMA	48.230
MÉDIA	2.679
DESVIO	528

Legenda

BAIXA	< 2,500
MÉDIA	2,501 - 3,500
ALTA	> 3.500

Tabela 14 – RESUMO DOS DADOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES DE REGRESSÃO.

PARCELAS	PRODUTIVIDADE	ANÁLISE VISUAL								ANÁLISE SOLO 0-15 cm. [C 0-5 cm.]							ANÁLISE FOLIAR					
	kg/ha	ESTANDE *	ESTANDE **	MATO *	MATO **	DOENÇAS *	DOENÇAS **	PRAGAS *	PRAGAS **	pH CaCl ₂	P	K	Al	Ca	Mg	C	N	P	K	Ca (g/kg.)	Mg	Al
2	2.534	1	1	2	2	2	3	2	3	4,5	11	0,35	1,7	5	2,8	31,1	13,93	2,56	16,70	10,20	1,10	170
3	2.587	1	1	2	2	2	3	2	3	4,5	8	0,16	0,8	4,2	2,5	27,8	18,08	2,51	16,05	10,20	1,10	170
4	2.292	1	1	3	3	1	2	2	3	4,8	6	0,11	0	6	3,7	26,3	15,73	2,48	14,05	13,60	2,60	150
8	2.657	2	2	2	2	2	3	2	3	4,4	5	0,44	1,5	3	2,2	34,7	17,05	2,31	16,25	10,30	1,30	160
9	2.793	1	1	1	1	1	2	2	3	4,4	10	0,34	0,4	7	4	35,7	18,85	2,67	15,00	12,40	1,60	150
10	3.324	1	1	1	1	1	2	2	3	4,4	13	0,27	0,3	5	5	26,8	18,90	2,79	14,95	12,80	1,50	160
11	3.509	1	1	1	1	1	2	2	3	4,3	8	0,27	1,4	4,5	2,5	30,7	18,90	3,01	13,45	15,10	1,70	90
12	2.159	2	2	3	3	2	3	2	3	4,3	11	0,41	0,9	4	2,6	26,8	16,72	3,03	13,60	11,50	2,00	100
14	3.275	1	1	1	1	1	2	2	3	4,4	11	0,31	1,2	4,9	2,9	35,7	18,03	2,45	13,35	12,30	2,00	120
15	3.453	1	1	1	1	1	2	2	3	4,4	9	0,2	1,1	6,6	3,9	37,6	18,03	2,56	12,95	13,00	2,20	90
16	3.475	1	1	1	1	1	2	2	3	4,3	14	0,18	1,3	5,2	4,8	36,1	18,14	2,79	12,30	13,60	1,80	100
17	2.052	1	1	3	3	1	2	2	3	4,7	13	0,28	1,3	2	4	35,7	17,65	2,79	12,25	14,50	2,20	100
18	2.421	2	2	3	3	2	3	2	3	4,5	12	0,32	1,5	4,7	2,8	34,2	18,68	2,92	13,10	12,60	1,90	100
MÉDIA	2.810	1,23	1,23	1,85	1,85	1,38	2,38	2,00	3,00	4,45	10,08	0,26	1,03	4,78	3,36	32,25	17,59	2,68	14,15	12,47	1,77	127,69
DESVIO	531,69	0,44	0,44	0,90	0,90	0,51	0,51	0,00	0,00	0,15	2,75	0,13	0,52	1,35	0,92	4,16	1,44	0,23	1,50	1,58	0,45	32,44

A Tabela 15 apresenta os coeficientes de determinação tomando-se como variável dependente a produtividade das parcelas experimentais e independente os teores de nutrientes no solo. Na análise utiliza-se um modelo matemático para descrever a relação entre duas variáveis partindo de n observações da mesma. Para tal utiliza-se r^2 que é a medida de como a variável independente em uma análise de regressão linear simples pode explicar variações na variável dependente; seu valor situa-se entre 0 (fraco ajuste) e 1 (ajuste perfeito) DOWNING (1999).

Historicamente os passos para avaliação dos teores de nutrientes disponíveis no solo consistem em: a) seleção do extrator, b) correlação entre as quantidades extraídas em laboratório e as realmente retiradas pelas plantas e c) calibração do método à fim de verificar sua acurácia. As recomendações de fertilizantes são baseadas nas interpretações dos dados de calibração e nas curvas de resposta dos fertilizantes COREY (1987).

Tabela 15 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO R^2 ENTRE TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO E PRODUTIVIDADE

Teores no Solo	Produtividade
pH	0,038
P	0,012
K	0,055
Al	0,004
Ca	0,018
Mg	0,103
C	0,087

Como se pode notar, para todas os fatores referentes à fertilidade do solo o ajuste r^2 foi fraco. Isso indica que as variações observadas na produtividade das parcelas experimentais estão mais relacionadas a outros fatores e não aos teores de nutrientes disponíveis no solo, em especial o P.

A tabela 16 apresenta os teores de nutrientes nas folhas de soja colhidas no terço médio da planta, segundo metodologia apresentada. Espera-se observar alguma correlação entre estes teores e a produtividade das parcelas experimentais.

TABELA 16 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO R^2 ENTRE TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E PRODUTIVIDADE.

Teores nas Folhas	Produtividade
N	0,23
P	0
K	0,03
Ca	0,08
Mg	0,01
Al	0,04

Como se pode notar, para todas os fatores referentes aos teores de nutrientes nas folhas, tal e qual para as características de fertilidade do solo, o ajuste r^2 também foi fraco. Isso indica mais uma vez que as variações observadas na produtividade das parcelas experimentais estão mais relacionadas a outros fatores e não aos teores de nutrientes nas folhas, em especial o P. Para o nitrogênio o ajuste foi um pouco melhor do que o observado para os demais nutrientes, no entanto este valor de N não o caracteriza como exercendo influência sobre a produtividade.

A Tabela 17 mostra os valores de r^2 entre os teores de nutrientes no solo e nas folhas de soja das parcelas experimentais. Havendo disponibilidade de nutrientes no solo, espera-se que estes sejam absorvidos pelas plantas e que as folhas apresentem teores também elevados e no caso de deficiência de algum nutriente no solo, espera-se que as folhas das plantas apresentem teores reduzidos deste nutriente. De qualquer maneira espera-se que haja uma correlação consistente entre os teores de nutrientes no solo e nas folhas de soja das parcelas experimentais.

TABELA 17 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO R^2 ENTRE TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO.

Teores nas Folhas	Teores no Solo
P	0,291
K	0,081
Ca	0,004
Mg	0,089
Al	0,115

Observa-se que não houve um ajuste satisfatório na correlação dos teores de nutrientes nas folhas e no solo. Para o P o ajuste foi um pouco melhor do que para os demais nutrientes, mas mesmo assim r^2 de 0,29 ainda é baixo para fins de uma conclusão, não sendo significativo.

Na Tabela 18 estão os valores de r^2 entre a produtividade e as características agronômicas. Como a produtividade, segundo diversos autores deve-se não apenas as características de solo, mas também a fatores referentes a clima, planta e manejo, espera-se obter dados mais consistentes de r^2 que possibilitem caracterizar as possíveis causas das variações de produtividade observadas nas parcelas experimentais.

TABELA 18 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO R^2 ENTRE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS.

Fatores Fitotécnicos	Produtividade
Estande	0,18
Matocompetic.	0,85
Sanidade	0,27
Pragas	0

Como pode-se observar, houve um forte ajuste entre a produtividade e a ocorrência de plantas daninhas nas parcelas experimentais estas, muito provavelmente concorreram com a soja não permitindo que a cultura expressasse o seu máximo potencial produtivo, mascarando os resultados referentes a fertilidade do solo e aos teores de nutrientes nas folhas.

De acordo com SUMMER (1987) a expressão do potencial produtivo das lavouras depende de uma série de fatores, dos quais apenas alguns podem ser controlados ou mensurados de uma maneira significativa. Assim para que a regressão seja confiável, deve-se fornecer todos os fatores necessários ao desenvolvimento da planta, exceto aquele que se quer avaliar. Outro fator que afeta significativamente tanto a produtividade da soja com relação aos teores de P no solo são as variações sazonais dos fatores ambientais HARGROVE et al. (1984). Com relação às variações ambientais, uma vez que as parcelas experimentais estavam sujeitas as mesmas condições assumiu-se esta influenciaria os resultados de maneira uniforme e que na pior das hipóteses houvesse um deslocamento horizontal na reta de regressão.

As Figuras 10 e 11 apresentam respectivamente, a representação gráfica das relações entre Produtividade e teores de P no solo e produtividade e matocompetição

FIGURA 9 – RELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE E P NO SOLO

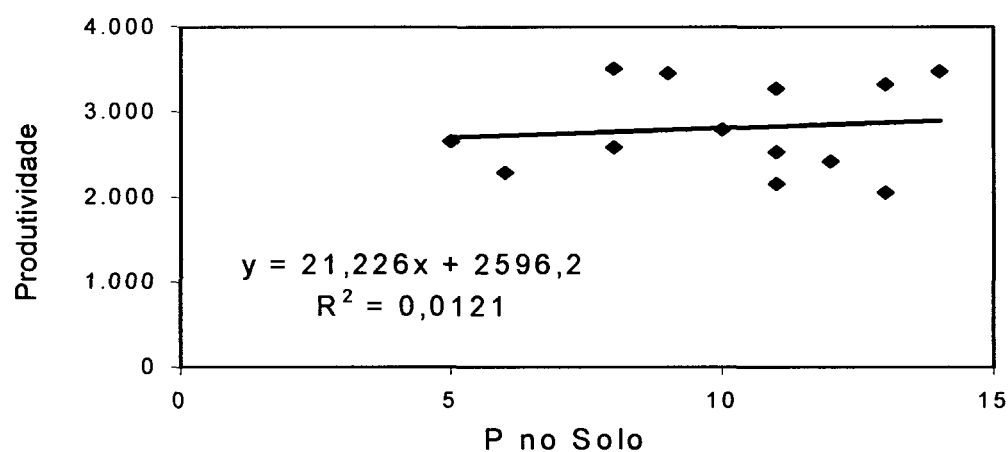
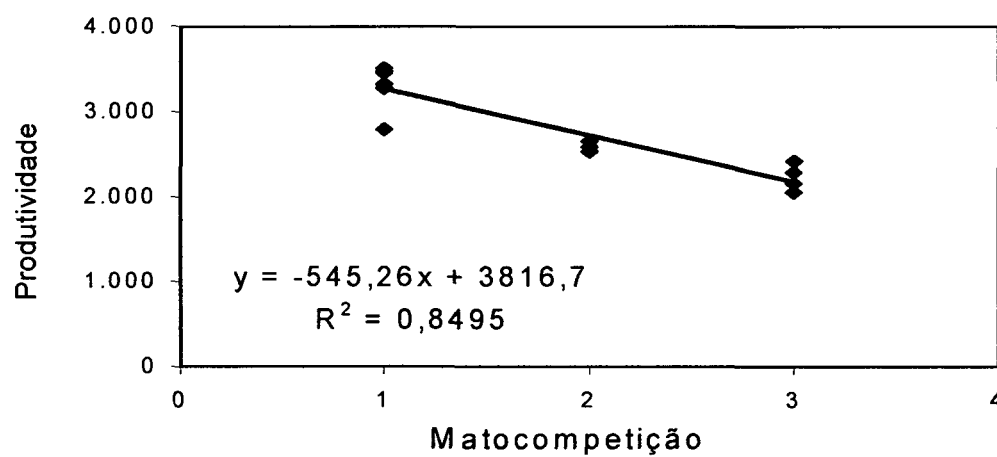


FIGURA 10 – RELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE E MATOCOMPETIÇÃO.



7 CONCLUSÕES

1 – Os teores de nutrientes no solo variaram tanto vertical quanto horizontalmente, entre e dentro das parcelas experimentais, o que indica que recomendações de fertilizantes feitas levando-se em consideração apenas à fertilidade média do terreno podem subestimar ou superestimar os teores reais de nutrientes disponíveis no solo.

2 – Houve variação de produtividade entre as parcelas. Esta se caracterizou por estar mais relacionada às características agronômicas e de manejo (estande, mato, doenças e pragas), do que com a fertilidade do solo propriamente dita. Neste experimento, a matocompetição foi responsável por 85% das variações de produtividade observadas.

3 – O fato da diferença de produtividade entre as parcelas não corresponder única e exclusivamente às variações de fertilidade, significa que a variabilidade espacial dos parâmetros fitotécnicos deve ser considerada quando da implantação e principalmente do manejo de uma lavoura, a fim de que o máximo potencial produtivo da cultura possa se expressar.

4 – Para construir curvas de calibração, o ambiente deve estar completamente controlado quanto aos demais fatores agronômicos, para que os resultados não sejam mascarados.

5 – A utilização de insumos com taxa de aplicação fixa, desconsiderando a variabilidade espacial da área, pode aumentar os custos totais de produção e tende a reduzir a produtividade média da lavoura.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.S. de; RODRIGUES, B. N. **Guia de herbicidas** - contribuição para o uso adequado em plantio direto e convencional. Londrina: IAPAR, 1985. 482p.

ANDERSON, N. W. **Soil sampling for site-specific farming**. St. Joseph: ASAE Paper 95-1751, 7p. 1995a.

ANDERSON, N. W. **The Terranova VRS variable rate system**. St. Joseph: ASAE Paper 95-1754, 7p. 1995b.

AUERNHAMMER, H., et al. **GPS for yield mapping on combines**. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, v.11, p.54-68, 1994.

AUERNHAMMER, H.; DEMMEL, M.; PIRRO, P. J. M. **Yield measurement on self propelled forage harvesters**. St. Joseph, ASAE Paper 95-1757, 5p. 1995.

AVILA, L. A. de; SCHADECK, F.A.; MACHADO, S.L.O. de. Interferência do fedegoso (*Cassia occidentalis* L.) na cultura da soja [*Glicine max* (L.) Merrill] em competição por espaço. In: **Reunião de pesquisa da soja da região sul**, 24, 1996. Pelotas, RS. Ata e Resumos... Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1997. p.118

BAERDEMAEKER, J.; DELCROIX, R.; LINDEMANS, P. Monitoring the grain flow on combines. In: **Agri-Mation™ 1 Conference & Exposition, Chicago, Proceedings**, St. Joseph, ASAE, 1985. p.329- 338.

BAHRI, A. **Modulating wheat seeding rate for site specific crop management**. Lincoln, 1995. 157p. Tese (PhD Dissertation) - University of Nebraska-Lincoln.

BALASTREIRE, L. A. Aplicação localizada de insumos – ALI: um velho conceito novo. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 23, 1994, Campinas: Resumos... SBEA/UNICAMP, 1994. p.248.

BALASTREIRE; L.A.; ELIAS, I. A.; AMARAL, J.R.. **Agricultura de precisão: Mapeamento da Produtividade da Cultura do Milho**. Engenharia Rural, ESALQ/USP, v.8, p.97-111, 1997.

BALL, D. F.; WILLIAMS, W. M. **Variability of soil chemical properties in two uncultivated brown earths**. J. Soil Sci., 19:379-391, 1968

BASHFORD, L. L.; WEDERGREN, C. R.; KOCHER, M. F. Site specific yield with a big roll baler. In: **Agricultural Equipment Technology Conference**, 1995, Chicago. Abstracts... ASAE, 1995. p.7.

BATAGLIA, O. C.; MASCARENHAS, H.A.A. **Absorção de nutrientes pela soja**. Campinas: IAC, 1977. 36p. (Boletim Técnico, 41).

BECKET, P.H.T.; WEBSTER, R. **Soil variability; a review**. Soil and Fertilizer, 34:1-15, 1971.

BENNETT, K. A., BROWN, R. B. **Improving direct injection for spatially variable herbicide application**. St. Joseph, ASAE Paper AETC 95-106, 16. 1995.

BIANCHI, M.A. **Programa de difusão do manejo integrado de plantas daninhas em soja no Rio Grande do Sul-1993/94**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1994. 22p.

BIANCHI, M.A. **Programa de difusão do manejo integrado de plantas daninhas em soja no Rio Grande do Sul-1994/95**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1995. 31p.

BIANCHI, M.A. Manejo integrado de plantas daninhas. In: **A Cultura do Milho no Plantio Direto**. Coord. B.C. de Campos. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1998.

BIANCHI, M.A.; FECKSA, H.R. **Nível de dano econômico de plantas daninhas na soja em plantio direto**. In: Congresso brasileiro da ciência das plantas daninhas, 22, 2000, Foz do Iguaçu. Resumos, Londrina, SBCPD, 2000. p.34.

BIRRELL, S.; SUDDUTH, K. A. **Corn population sensor for precision farming**. St. Joseph, ASAE Paper No. 95-1334, 12p. 1995.

BLACKMER, T.; SCHEPERS, J. S. **Using DGPS to improve corn production and water quality**. GPS World, Eugene, p.44-52, março 1996.

BLACKMORE, S. **Precision farming: an overview**. Agricultural Engineer, St. Joseph, Autum 1994, p.86-88. 1994.

BLACKMORE, B.S.; MARSHALL, C.J. Yield Mapping; Errors and Algorithms. In: **3rd International Conference on Precision Agriculture**. Proceedings. Minneapolis, Minnesota, USA, 1996, p. 403-415.

BLANCO, H.G., et al. **Observações sobre o período em que as plantas daninhas competem com a soja (Glycine max (L.) Merrill)**. O Biológico. São Paulo: 39: 31-35, 1973.

BOLE, J. B. **Influence of root hairs in supplying soil phosphorus to wheat**. Canadian Journal of Soil Science 53 (2): 169-175. 1973.

BOSNIC, A.C.; SWANTON, C.J. Economic decision rules for postemergence herbicide controle of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). In: **Corn (Zea mays)**. Weed Science, Champaign, 45: 557-563. 1997.

BOUMA, D. **Nutrient uptake and distribution in subterranean clover during recovery from nutritional stresses**. Experiments with phosphorus. Australian Journal of Biological Sciences 20: 601-612. 1967.

BRESLER, E.; DAGAN, G.; HANKS, J. **Statistical analysis of crop yield under controlled line-source irrigation**. J. Am. Soil. Sci. 46 (1): 123-132, 1982.

BULLOCK, D. G., et al. **Nutrient management with intensive soil sampling and differential fertilizer spreading**. Better Crops With Plant Food, Norcross, v.78, n.4, p.10-2, 1994.

CAMP, C. R.; SADLER, E. J. Site-specific center pivot irrigation system. In: **Agricultural Equipment Technology Conference, 1995**, Chicago. Abstracts... ASAE, 1995, p.15.

CANNON, M. E.; MCKENZIE, R. C.; LACHAPELLE, G. Soil salinity mapping with electromagnetic induction and satellite-based navigation methods. **Canadian Journal of Soil Science**, v.74, n.3, p.335-43, 1994.

CASSEL, D. K.; NELSON, L.A. **Spatial and temporal variability of soil physical properties on Norfolk loamy sand as affected by tillage**. Soil and Tillage Research, 5: 5-17, 1985.

CASTRO, O M de. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas: Fundação Cargil, 1989.

CATANI, R.A.; PELEGRINO, D. **Rev. Agric.** 32:327, 1957

CHAN, C.W., et al. Interpolation errors. In: **Citrus yield mapping**. ASAE Florida Section Annual Conference, Key Largo, Florida, USA, May 1999.

CHEMALE, V.M.; FLECK, N.G. Avaliação de cultivares de soja (*Glicine max* (L.) Merrill) em competição com *Euphorbia heterophylla* L. sob três densidades e dois períodos de ocorrência. **Planta Daninha**, Campinas, 5: 36-45, 1982.

CORDEIRO, D.S., et al. Calagem, adubação e nutrição mineral. In: **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Centro nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. Ecologia, manejo e adubação da soja. Londrina, 1979. p.19-49. (EMPRAPA-CNPSO. Circular Técnica,2).

COREY, R.B. Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretation. **SSSA – Special Publication** n° 21 p. 15-21, 1987.

COSTA, J.M.; OLIVEIRA E.F. In: **Fertilidade do solo e nutrição de plantas – COAMO: CODETEC**. 1998. 89p.

DOWNING, D.; CLARK, J. **Estatística aplicada**. Trad. Alfredo Alves Faria. São Paulo: Saraiva, 1999. Título original, Business statistics 2nd. Edition.

DRUMMOND, S. T.; SUDDUTH, K. A.; BIRRELL, S. J. **Analysis and correlation methods for spatial data**. St. Joseph, ASAE Paper No. 95-1335, 22p. 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1998/99**. Londrina: 1998. 201p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 119).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 2000/01**. Londrina: 2000. 255p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 145).

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops**. Marcel Dekker INC. New York USA 1991.

FASSBENDER, H.W., **Agri Digest**, 18, 1969.

FERGUSON, R.B., et al. Soil sampling for site-specific nitrogen management. p. 13-22. In P.C. Robert et al. (ed.) **Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture**. Mineapolis, MN.23-26 June,1996. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI.

FIXEN, P. E. Site-specific management impacts P and K use and productivity. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, v.78, n.4, p.3-4, 1994.

FLECK, N.G.; CANDEMIL, C.R.G. **Interferência de plantas daninhas na cultura da soja**. Ciência Rural, Santa Maria, 25: 27-32, 1995.

FLECK, N.G. **Interferência de papuã (*Brachiaria plantaginea*) com soja e ganho de produtividade obtido através de seu controle**. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, 2: 63-68, 1996.

FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, Londrina, PR. **A Cultura do milho no Paraná**. Londrina, 1991. 271p. ilustr. (IAPAR. Circular, 68).

GANDRUD, D.; WOLFF, G.; HAUGEN, N. **Computer controlled metering of granular material**. St. Joseph, ASAE Paper No. 93-1549, 14p. 1993.

GASSEN, D. N. **Parasitas patógenos e predadores associados a cultura do trigo**. Passo Fundo: EMPRAPA-CNPT, 1986. 86p. (EMPRAPA-CNPT. Circular Técnica,1).

GAULTNEY, L. D. **Prescription farming based on soil property sensors**. St. Joseph, ASAE Paper No. 89-1036, 9p. 1989.

GAZZIERO, D.L.P.; VAL, W. da C.; VOLL, E. Biologia e competição das plantas infestantes da cultura da soja. In: **Resultados de Pesquisa da Embrapa Soja 1996**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1997. p.89-90.

GOERING, C. E. How much and where. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.73, n.4,p.13-15. 1992.

GOERING, C. E.; HAN, S. **A field information system for SSCM**. Warrendale, SAE Paper No. 932422, 13p. 1993.

GRIFFIS, C. L. Electronic sensing of soil organic matter. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.3, p.703-5. 1985.

HAMMOND, M.W. Cost analysis of variable fertility management of phosphorus and potassium for potato production in central washington. p. 213-228. In: **Soil Specific Crop Management**. P.C. Robert et al. (Eds.) Proceedings of First Workshop of the ASA-CSSA-SSSA, 1992. Madison, WI.

HAMMOND, M. W. Comparison of phosphorus and potassium utilization with conventional and variable fertility management. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, v.78, n.4, p.22-3, 1994.

HAN, S., et al. **Cell size selection for site – specific crop management**. Transactions of the ASAE, v.37, n.1, p.19-26, Jan./Fev. 1994.

HEEGE, H. J.; REUSCH, S. **Sensor for on the go control of site specific nitrogen top dressing**. St. Joseph, ASAE Paper No. 96-1018, 14p. 1996.

HEINIGER, R. W.; BRAKE, S. **Large-scale precision farming: balancing the books and the environment**. GPS World, suplemento “Precision Farming”, Eugene, julho 1996, p.18-23.

HELMS, T.C.; ORF, J.H. **Protein, oil and soybean lines selected for increased protein**. Crop Science, 38(3): 707-711, 1998.

HOFMAN, V.; PANIGRAHI, S.; GREGOR, B.; WALTER, J. In field yield monitoring of sugarbeets. In: **SAE. New Developments in Farm Machinery and Crop Management**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995. p. 9-11.(SAE SP-1111).

HOLLIST, R.; WOLLMAN, A.; CAMPBELL, R. **No small potatoes: monitoring the yield of high-value crops**. GPS World , suplemento “Precision Farming”, Eugene, p.24-28, julho 1996.

HOLMBERG, M. Variable rates with consistent control. **Successful Farming**, Des Moines, p.34-5, fevereiro 1996.

HORNBAKER, R. H.; HERTZ, C. A.; HIBBARD, J. D. A preliminary assessment of the economics of variable rate technology for applying phosphorus and potassium in corn production. Urbana: **Farm Economics Facts & Opinions**, Cooperative Extension Service, University of Illinois at Urbana-Champaign, outubro 1993. 6p. (Issue 93-14).

HUMMEL, J.W.; PFEIFFER, D.W.; MILLER, N.R. **Sensing Grain Volumes on Individual Elevator Flights**. 1995 ASA-CSSA-SSSA Site-Specific Management for Agricultural Systems. p. 69-86.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Recomendações técnicas para a cultura do trigo no Paraná** – 1998. Londrina, 1998. 124p. Ilust. (IAPAR. Circular, 100).

IQBAL, M.; ZUO, Y.; ERBACH, D. C.; MARLEY, S. J. **Smearred soil surface evaluation by fiber optic sensor and root penetration**. St. Joseph, ASAE Paper No. 96-1047, 12p. 1996.

JACKSON, M.L., **Em Chemistry of the soil**, 2nd. Ed. Reinhold Publishing Cooperation, Nova York, 1965.

JACKSON, P. C.; HAGEN, C. E. **Products of orthophosphate absorption by barley roots**. Plant physiology 35 (3): 326-332. 1960.

JENANE, C. e BASHFORD, L. L. Yield mapping of soybeans and corn using GPS. In: **SAE. New Developments in Farm Machinery and Crop Management**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995. p.1-8 (SAE SP-1111).

JONES, G.D.; LUTZ, J.A.Jr. & SMITH, T.J. **Effects of phosphorus and potassium on soybean nodules and seed yield**. Agron. J., 69:1003-6, 1977.

KANEMASU, E.T.; STONE, L.R. and POWERS, W.L. **Evapo-transpiration model tested for soybean and sorghum**. Agron. J. 68:569-572, 1976.

KARAM, D.; VOLL, E.; GAZZIERO, D.L.P.; CAÇÃO, L.E.F. Estudo da interferência de plantas daninhas com a cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill). In: **Congresso Brasileiro de Herbicidas e Plantas Daninhas**, 19, 1993, Londrina, PR. Resumos... Londrina: SBHED, 1993. p.32.

KARAM, D., et al. Efeito de densidades de plantas daninhas na cultura da soja. In: **Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul**, 22, 1994. Cruz Alta, RS. Ata e Resumos... Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1994. p.80.

KARDOS, L.T., **Em Chemistry of the soil**. cap. 6, Reinhold Publishing Cooperation, Nova York, 1955.

KAGAWA, A. ed. **Standard table of food composition in Japan**. Tokyo: University of Nutrition for women, 1995. p. 104-105.

KVIEN, C., WATERS, D.; USERY, L. Farming in the information age. **GPS World**, suplemento "Precision Farming", Eugene, p.10-19, dezembro 1995.

LARACH, J.O.I.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A.P. DE; HOCHMULER, D.P.; FASOLO, P.J.; RAUEN, M. DE J. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Tomos I and II. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Bol. Téc., 57. Londrina. 1984.791p.

LONERAGAN, J. F.; ASHER, C. J. **Response of plants to phosphate concentration in solution culture: II**. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. Soil Sci., 103:311-318, 1967.

LONG, D.S.; CARLSON, G.R; ENGEL, R.E. **Grain protein mapping for precision management of dryland wheat**. Proceedings of the 4th International Conference, St. Paul, Minnesota, p. 787-796, 1998.

- LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. ANDA/POTAFÓS, 1989.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**. Nova Odessa: H. Lorenzi, 1982. 425p.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. Nova Odessa, SP. Editora Plantarun, 1994.
- LOWENBERG-DEBOER, J.; SWINTON, S. M. **Economics of site-specific management in agronomic crops**. W. Lafayette: Purdue University, 1995. 25p. (Staff Paper 95-14).
- LUCCHESI, L.A.C. 1988. **Influência de sucessões de culturas forrageiras e adubações sobre a recuperação de algumas características de um solo degradado pela mineração do xisto e sobre a sua mesofauna edáfica (Acarí e Collembola)**. M.S. diss. UFPR. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR Brazil. 217 p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Ed. Agr. Ceres, 1980.
- MANGOLD, G. Yield monitors and precision farming system integrators. **Successful Farming**, Des Moines, p .37-40, maio-junho 1996.
- MARQUES JR. J., et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas de latossolos em áreas de cerrado sob cultivo de café, em Patrocínio, MG. In: **O Estado-da-Arte da Agricultura de Precisão no Brasil, Capítulo III - Mapeamento da Produtividade e de Atributos de Solos e de Plantas**, p. 105-112, L.A. Balastreire, Piracicaba, SP, Fevereiro de 2000.
- MARRA, M.C. & CARLSON, G.A. **An economic threshold model for weeds in soybeans (Glycine max)**. Weed Science, Champaign, 31: 604-609. 1983.
- MELLO, F.A.F., et al. **Fertilidade do Solo**. São Paulo: Nobel, 1983.
- MENGEL, K.; KIRBY, E.A. **Principles of Plant Nutrition** 3rd. Edition. International Potash Institute Bern, Switzerland 1982.
- MILLER, P. H.; STAFFORD, J. V. Patch spraying for cost effective weed control. In: **Agricultural Equipment Technology Conference**, 1995, Chicago. Abstracts... ASAE,1995. p.22.
- MOHAMED, S.B.; EVANS, E.J.; SHIEL, R.S. Mapping Techniques and Intensity of Soil Sampling for Precision Farming P. 217-226. In ROBERT, P.C. et al. **Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture**. Mineapolis, MN.23-26 June,1996. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI
- MULLA, D.J. **Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield**. p. 15-26. In Soil Specific Crop Management. ROBERT, P.C. et al. Proc. of First Workshop of the ASA-CSSA-SSSA, 1992. Madison, WI.
- MOLIN, J. P. **Advanced Topics - Spatial Variability/GPS**. Lincoln, 1996. 32p. Final Report. University of Nebraska-Lincoln. (não publicado).
- MONSON, R. J. **The Falcon control system for Soilection**. St. Joseph, ASAE Paper 95-1753, 20p. 1995.
- MOTZ, D. S.; SEARCY, S. W. Performance of a map-based precision sprayer. In: **Agricultural Equipment Technology Conference**. Chicago: Abstracts... ASAE,1995. p.24.

MURPHY, D. P.; SCHNUG, E.; HANEKLAUS, S. Yield Mapping. A Guide to Improved Techniques and Strategies. **ASA-CSSA-SSSA, Site-Specific Management for Agricultural Systems**, 1995, p. 33-47.

MUSICK, J.T.; NEW, L.L.; DUSEK, D.A. **Soil water depletion-yield relationships of irrigated sorghum, wheat, and soybeans**. Trans. ASAE 19: 489-493, 1976.

NEUHAUS, P. E.; SEARCY, S. W. **Variable planting density and fertilizer rate application system**. St. Joseph, ASAE Paper No. 93-1554, 14p. 1993.

O'HALLORAN, I. P.; KACHANOSKI, R. G.; STEWART, W. B. **Spatial variability of soil phosphorus as influenced by soil texture and management**. Can. J. Soil Sci. 65: 475-487. 1985.

OLSEN, S. R.; WATANABE, F. S. **Diffusive supply of phosphorus in relation to soil textural variations**. Soil Sci. 110:318-327. 1970.

PAICE, M. E. R.; MILLER, P. C. H.; BODLE, J. D. An experimental sprayer for the spacially selective application of herbicides. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.60, p.107-16, 1995.

PANIGRAHI, S.; BOUDUR, S.; HOFMAN, V. Sensors and sensing techniques for precision farming. In: SAE. **New developments in farm machinery and crop management**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995. p.13-19 (SAE SP-1111).

PARKHURST, D.F. **Optimal sampling geometry for hazardous waste sites**. Environ. Sci. Technol. 18:521-523. 1984.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPUSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, Circular n. 76, 1992.

PECK, T.R. Plant analysis for production agriculture. In: **Soil Plant Analysis Workshop, 7, Bridgetown, 1979**. Proceedings... Bridgetown, 1979. p.1-45.

PEREZ-MUNOZ, F.; COLVIN, T. S. Continuous grain yield monitoring. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.39, n.3, p.775-783, 1996.

PITELLI, R.A. **Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 11: 16-27. 1985.

PITTS, M. J.; HUMMER, J. W.; BUTLER, B. J. Sensor utilizing light reflection to measure soil organic matter. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.2, p.422-429, 1986.

PLATTNER, C. E.; HUMMEL, J. W. Row-crop population sensor for agricultural crops. In: **Agricultural Equipment Technology Conference**, 1995, Chicago. Abstracts... ASAE, 1995, p.25.

PREVEDELLO, B.M.S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. Piracicaba, 1987, 166p. Tese, Doutorado. ESALQ, USP.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Salesward, Curitiba, 1986, 446p.

REDDY, M.R.; DUNN, J.J. **Differential response of soybean genotypes to soil pH and manganese application**. Plant Soil 101: 123-126, 1987.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira. Ci. Solo**, Campinas, 10: 85-90, 1986.

REITZ, P.; KUTZBACH, H.D. Data acquisition for yield mapping with Combine harvesters. In: **International Conference of Computers in Agriculture**, 5., Orlando, Proceedings, St. Joseph: ASAE, P.42-47, 1994.

RICE, E.L. **Allelopathy**. New York, Academic Press, 1974.

RILEY, D.; BARBER, S. A. **Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface**. Soil Science Society America Proceedings 35: 301-306. 1971.

ROCKWELL, A. D.; AYERS, P. D. Variable rate sprayer development and evaluation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.10, n.3, p.327-333, 1994.

ROMAN, E.S. Effect of cover crops on the development of weeds. In: **International Workshop On Conservation Tillage Systems**, 1990, Passo Fundo. Conservation tillage for subtropical areas; proceedings. Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p.218-230.

ROYTBURG, E.; CHAPLIN, J. Developing a tillage control system for precision farming. In: **Agricultural Equipment Technology Conference**, 1995, Chicago. Abstracts... ASAE, 1995, p.26.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: FUNDACEP/Basf, 1995. 134p.

RUSO, D.; Bresler, E. **Soil hydraulic properties as stochastic processes: I**. An analysis of field spatial variability. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 682-687. 1981.

SABIR, M.S.; STUCHLY, S.S.; HAMID, A. **A mass flowmeter for grain**. Transactions of the ASAE, v.19, n.6, p.1138-1142; 1976.

SANAEI, A.; YULE, I. J. **Yield measurement reliability on combine harvesters**. St. Joseph, ASAE Paper No. 96-1020, 14p. 1996.

SAUCHELLI, V., **Phosphates in Agriculture**. Reinhold Publishing Corporation, Nova York; 1965.

SCHRAMM, H. On farm tools for site specific crop management. In: **SAE. New Developments in Farm Machinery and Crop Management**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995. p.21-25 (SAE SP-1111).

SCHUELLER, J. K. In-field site-specific crop production. In.: **ASAE. Automated Agriculture for the 21st Century**. St. Joseph: ASAE, 1991. p.291-2. (ASAE publication 11-91).

SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of Spatially-Variable Crop Control of crop production. **Fertilizer Research**, The Hague, v.33, p.1-34, 1992.

SEARCY, S.W., et al. **Mapping of spatially variable yield during grain combining**. Transactions of the ASAE, v.32, n.3, 1989.

SEATZ, L.F.; STANBERRI, C.O. **Em Fertilizer Technology and Usage**. Cap. 6: Soil Sci. Soc. Amer., Madison 11, 1963.

SFREDO, G.J.; PANIZZI, M.C.C. **Importância da adubação e da nutrição na qualidade da soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1990. (EMPRAPA-CNPSO. Documentos, 40). 57p.

SHANK, J. L.; GAULTNEY, L. D. **Spectroscopic sensing for the determination of organic matter content**. St. Joseph, ASAE Paper No. 88-2142, 16p. 1988.

SHROPSHIRE, G. J.; PETERSON, G. J.; FISHER, K. **Field experience with differential GPS**. St. Joseph, ASAE Paper No. 93-1073, 14p. 1993.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; VIEIRA, S.R. **Variabilidade espacial de resistência à penetração de um Latossolo Vermelho escuro ao longo de um traçado ("Transect")**. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13: 1-5, 1989.

SOLIE, J. B., et al. **Agronomic based field element size and sensing strategy for nitrogen application**. St. Joseph, ASAE Paper No. AECT 95-131, 17p. 1995.

SOUZA, R.O. de. **Programa de difusão do manejo integrado de plantas daninhas em soja no Rio Grande do Sul - 1992/93**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1993. 21p.

SOUZA, R.O. de. **Balãozinho (Cardiospermum halicacabum L.) na cultura da soja [Glycine max L. (Merrill)]-Aspectos biológicos e controle químico**. Santa Maria, 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, 1995.

STERN, J. **Nonuniform sprinkler irrigation and yield**. Jerusalem, 1981, Dissertação, mestrado, Hebrew University of Jerusalem.

STOLLER, E.W., et al. **Weed interference in soybeans (Glycine max)**. **Reviews of Weed Science**, Champaing, 3: 155-181, 1987.

STONE, M. L., et al. **Use of spectral radiance for correcting in season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat**. St. Joseph, ASAE Paper AECT 95-133, 37p. 1995.

SUMMER, M.E. **Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretation**, SSSA – Special Publication n° 21 p. 119-131, 1987.

SWENSON, L.J.; DAHNKE, W.C.; PATTERSON, D.D. **Sampling for soil testing**. North Dakota State University, Dep of Soil Sci., Res. Rep. no. 8, 1984.

THOM, W.O. **Soil test interpretation with corn and soybeans on a belknap Silt Loam**. Kentucky Agric. Exp. Stn. Bull. 720, 1985.

THOMPSON, N.R.Jr. **A quantity of quality soybeans with fertility**. In: **Agroknowledge**, 3, Atlanta, 1978. Atlanta, Potash & Posphate Institute, 1978. p.1-4.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Instituto de Geologia. **Nota explicativa da Folha Geológica de Curitiba**. Boletim da UFPR – No. 20 – Novembro, 1966.

VANSICHEN, R.; BAERDEMAEKER, J. de: **A measurement technique for yield mapping of corn silage**. Journal of Agricultural Engineering Research, v.55, p.1- 10, 1993.

WAGNER, L.E.; SCHROCK, M.D. **Yield determination using a pivoted auger flow sensor**. Transactions of the ASAE, v.32, n.2, p.409-413, 1989.

WARRICK, A. W.; NIELSEN D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D. **Application of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. p. 319-344

WEBSTER, R.; A.B. McBratney. **Mapping soil fertility at Broom's Barn by simple kriging**. **Journal of the science of Food and Agriculture** 1987, 38: 97-115.

WEIDA, R.; BORGELT, S. T. **Geoestatistical analysis of plant nutrients from sample nested grids**. St. Joseph, ASAE Paper MCR93-131, 14p. 1993.

WERNER, W. **Kennzeichnung des pflanzenverfügbaren phosphats nach mehrjähriger düngung mit verschiedenen phosphaten.** Z Pflanzenernähr Düng Bodenkd 122:19-32. 1969.

WHITE, J. L.; WHITCRAFT, J. C.; THOMPSON, J. C.; PETERSON, C. L. **A variable variety grain drill for wheat production.** St. Joseph, ASAE Paper No. 96-1021, 24p. 1996.

WHITNEY, R. W.; STONE, M. L.; SOLIE, J. B.; RAUN, W. R. **Influence of variable-rate system design on gross economic return.** St. Joseph, ASAE Paper No. AECT 95-138, 19p. 1995.

WHITNEY, J.D.; MILLER, W.M.; WHEATON, T.A.; SALYANI, M.; SCHUELLER, J.K. **Precision farming applications in Florida Citrus.** ASAE Annual International Meeting, Orlando, Florida, USA, July 1998.

WILLIAMS, E.G. **Factors affecting the availability of soil phosphorus and efficiency of fertilizers.** Anglo-Soviet Symposium on Agrochemical Research on the use of Mineral Fertilizers, Moscow, 1970. (See Macaulay Institute Ann. Report, 1969/70. Macaulay Inst. For Soils, Craigiebuckler, Aberdeen, Scotland).

WINGHAM, D.K. Soybean, pp. 205-225. In International Rice Research Institute (ed.). **Potential productivity of field crops under different environments.** IRRI, Los Banos, Philippines, 1983.

WINKLER, V.J., et al. Spatial field variations in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) performance trials affect agronomic characters and seed composition. **European Journal of Agronomy**, 12(1):13-22, 2000.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P.; CLAYTON, M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.7, n.4, p.441-8, 1994.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P. Grid soil sampling. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, v.78, n.4, p.6-7-9, 1994a.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P. Cost associated with variable rate phosphorus and potassium applications. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, v.78, n.4, p.8-9, 1994b.

YULE, I. J.; CROOKS, E. **Precision farming: the price of imperfection** - a case study using fertilizer distribution. Landwards, London, Spring 1996, p.5-9, 1996.

YVANTIS, E. A.; FLATMAN, G. T.; BEHAR, J. V. **Efficiency of kriging estimation for square, triangular and hexagonal grids.** Mathematical Geology 19: 183-205. 1987.

ZUO, Y.; ERBACH, D. C.; MARLEY, S. J. **Soil structure evaluation by use of fiber-optic sensor.** St. Joseph, ASAE Paper 95-1317, 17p. 1995.